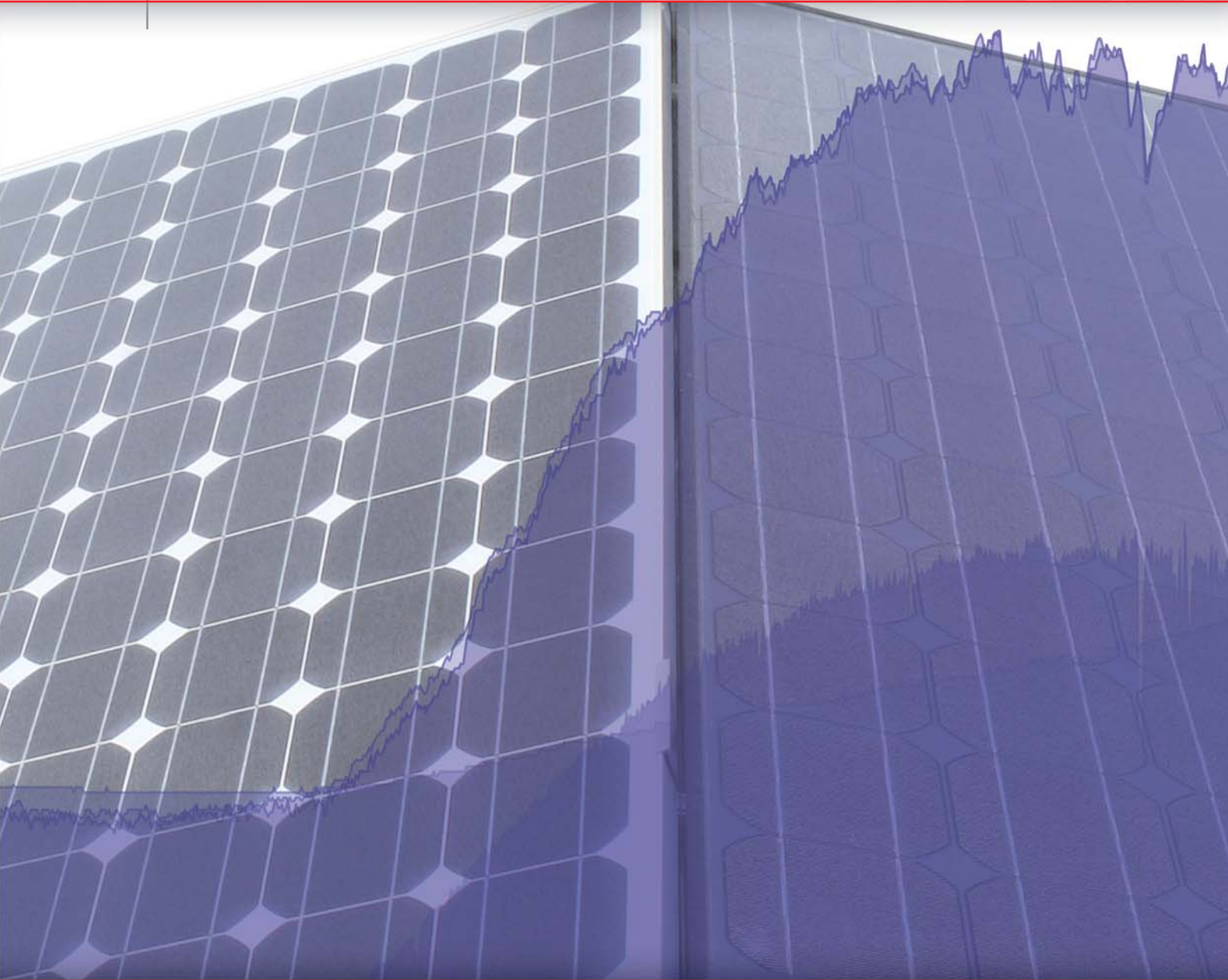




Nr. 8 / 2010

# REPORT



**Temperatur- und Leistungsverhalten von monokristallinen PV-Modulen mit schwarzer und herkömmlicher Oberfläche**

## Temperatur- und Leistungsverhalten von monokristallinen PV-Modulen mit schwarzer und herkömmlicher Oberfläche

### Nur eine Frage der Ästhetik?

Aus optischen Gründen werden vermehrt monokristalline Module installiert, die komplett schwarze Oberflächen haben. Da in diesem Falle eine schwarze statt einer weißen Tedlar-Folie verwendet wird, fällt das Rastermuster durch die hellen Bereiche zwischen den einzelnen Zellen und am Rahmen weg. Das ergibt ein einheitliches Dächerbild, das zurzeit ganz offensichtlich von vielen Betreibern einer Photovoltaikanlage bevorzugt wird. (siehe Abb. 1).

### Beide Oberflächen im Vergleichstest

Da sich eine komplett schwarze Oberfläche bei Sonnenbestrahlung stärker aufheizt als eine schwarz-weiß gemusterte, muss damit gerechnet werden, dass die Modulleistung zurückgeht und damit zwangsläufig auch der Stromertrag.

Es stellte sich nun die Frage, um wie viel Prozent. Um dies zu untersuchen, wurde eine Testphase von zwei Jahren vorgesehen. Im

ersten Jahr wurden die Messungen an einem schwarz-weiß gemusterten monokristallinen Modulpaar ANTARIS ASM 180 mit einer Modulleistung von 180 Wp durchgeführt (siehe Abb. 2), im zweiten Jahr an einem monokristallinen Modulpaar (ebenfalls 180 Wp-Module) mit komplett schwarzer Oberfläche. (siehe Abb. 3).



Abb. 1: links: schwarz-weiße Oberfläche; rechts: schwarze Oberfläche



Abb. 2: Modulpaar mit schwarz-weißer Oberfläche



Abb. 3: Modulpaar mit schwarzer Oberfläche

Dieses Verfahren hatte den Vorteil, dass alle Prüflinge nacheinander über zwölf Monate an derselben Mess-Sensorik angeschlossen waren. Dabei musste darauf geachtet werden, dass Temperatur und Leistungsvergleiche bei den Auswertungen nur dann einen Sinn ergaben, wenn die Umgebungs-Parameter übereinstimmten. Dazu gehörten die Außentemperatur, die Globalstrahlung und die Windgeschwindigkeit, die deshalb zusätzlich zur Modultemperatur und zur Modulleistung aufgezeichnet wurden (siehe Abb. 4 bis Abb. 6). Da die Messreihen mit beiden Modultypen jeweils ein Jahr dauerten,

ließen sich relativ leicht Tage bzw. Tagesausschnitte mit gleichen (oder zumindest sehr ähnlichen) Umgebungsbedingungen finden. Eine Leistungsminderung bei komplett schwarzen Modulen war nur im Sommer bei hohen Temperaturen zu erwarten.

Das jeweils zu testende Modulpaar wurde an einen Wechselrichter „Mastervolt Soladin 600“ angeschlossen, arbeitete also im Netz-Einspeisebetrieb. Dabei achtete man darauf, dass die MPP-Bereiche des Modulpaars und des Wechselrichters übereinstimmten. Die

Module wurden unter einem Neigungswinkel von 25° exakt nach Süden ausgerichtet (siehe Abb. 2 und 3), Spannung und Strom über Digitalmultimeter gleichstromseitig erfasst und über ein Messdaten-Erfassungsprogramm auf PC-Festplatte gespeichert. An jedem Modul eines Modulpaares wurde auf der Rückseite exakt mittig ein kalibrierter PT100-Sensor zur Erfassung der Modultemperatur befestigt (siehe Abb. 4). Auf dem gleichen Dach wurden u.a. ein Windmesser (Anemometer) und ein Globalstrahlungsmesser (Pyranometer) betrieben (siehe

Abb. 5 und 6). Auch deren Daten ließen sich in digitaler Form speichern, genauso wie ein Außentemperatur-Sensor, welcher im Schatten zwei Meter über dem Erdboden befestigt war. Der Zeittakt für alle genannten Messdatenerfassungssysteme betrug je 60 Sekunden. Die Messungen wurden „rund um die Uhr“ über zwei Jahre hinweg durchgeführt. Anschließend wurden die Daten ausgewertet, wobei auf vergleichbare Umweltbedingungen geachtet wurde.

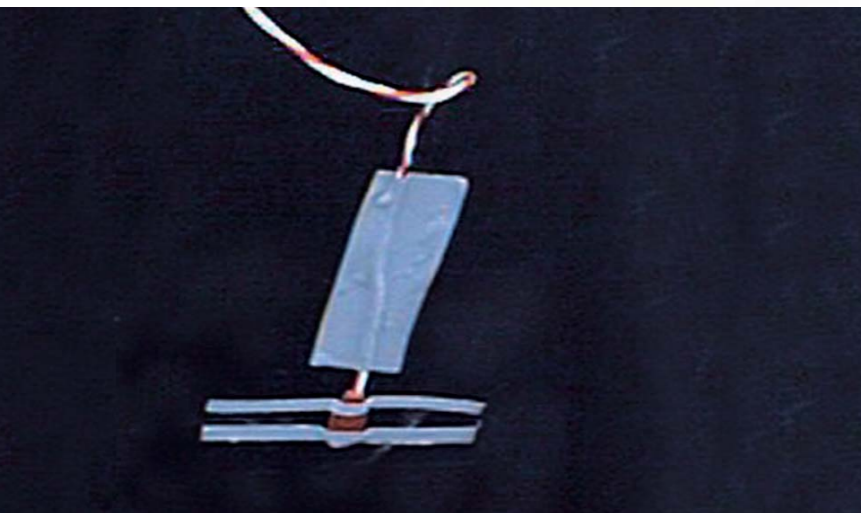


Abb. 4: Temperatursensor wurde fixiert, Klebebänder wurden entfernt nachdem der wärmeleitende Kleber ausgehärtet war



Abb. 5: Globalstrahlungsmesser (Pyranometer)



Abb. 6: Windmesser (Anemometer)

## Leistungsverlust bei komplett schwarzen Modulen – um wie viel Prozent?

Sehr gut vergleichbar waren die Umgebungsparameter des 3. Juli 2009 und des 28. Juni 2010, siehe Abb. 7 bis Abb. 14: Es wurde jeweils die höchste Tagestemperatur (Spitzentemperatur) der Module festgestellt und die zu diesem Zeitpunkt vorhandene Modulleistung, Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit und Außentemperatur ermittelt.

Die Graphen für die Module mit schwarz-weißer Oberfläche befinden sich in den Abbildungen 7 bis 10. Die Module mit schwarzer Oberfläche in den Abbildungen 11 bis 14.

**Oberfläche schwarz-weiß,  
2 Module in Reihe, Wechselrichterbetrieb, 03.07.2009**

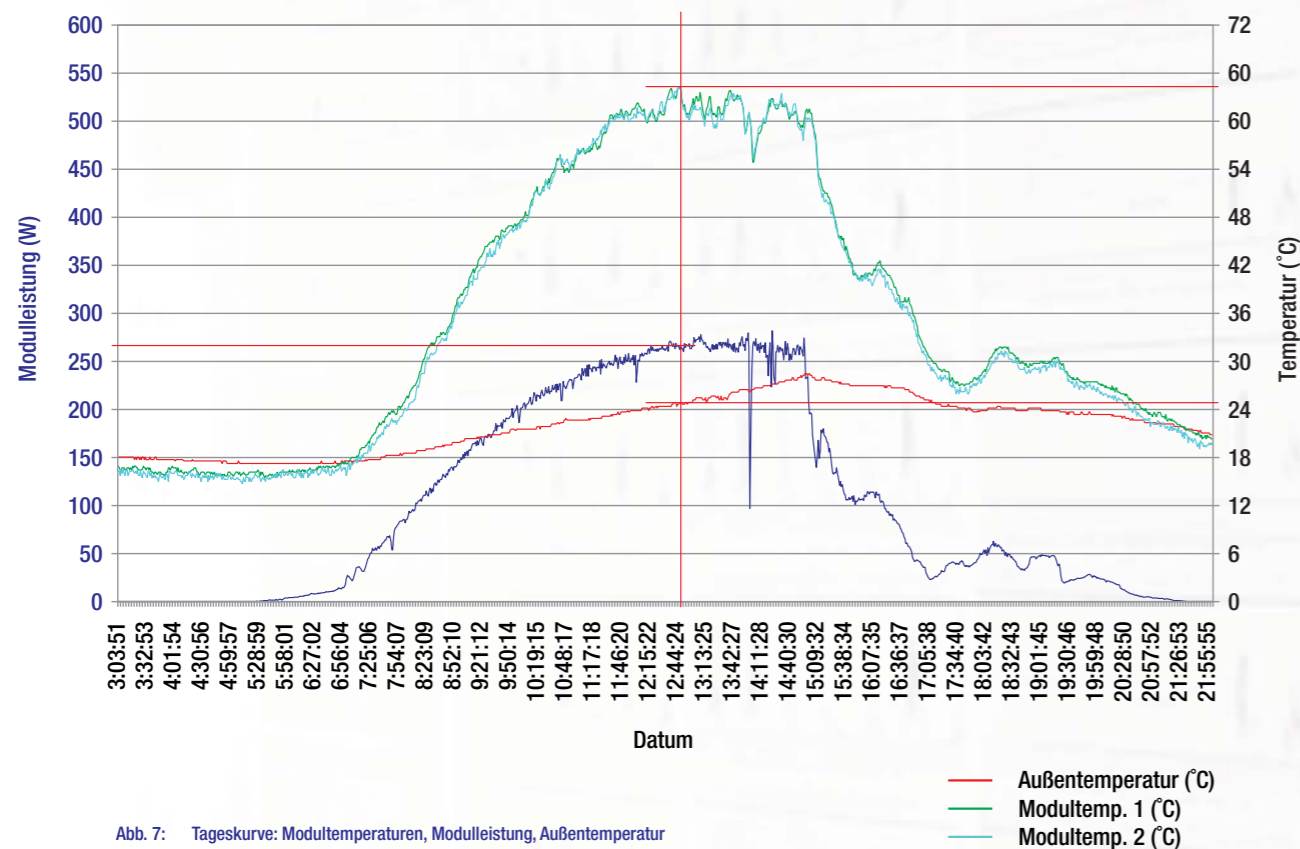


Abb. 7: Tageskurve: Modultemperaturen, Modulleistung, Außentemperatur

**Oberfläche schwarz,  
2 Module in Reihe, Wechselrichterbetrieb, 28.06.2010**

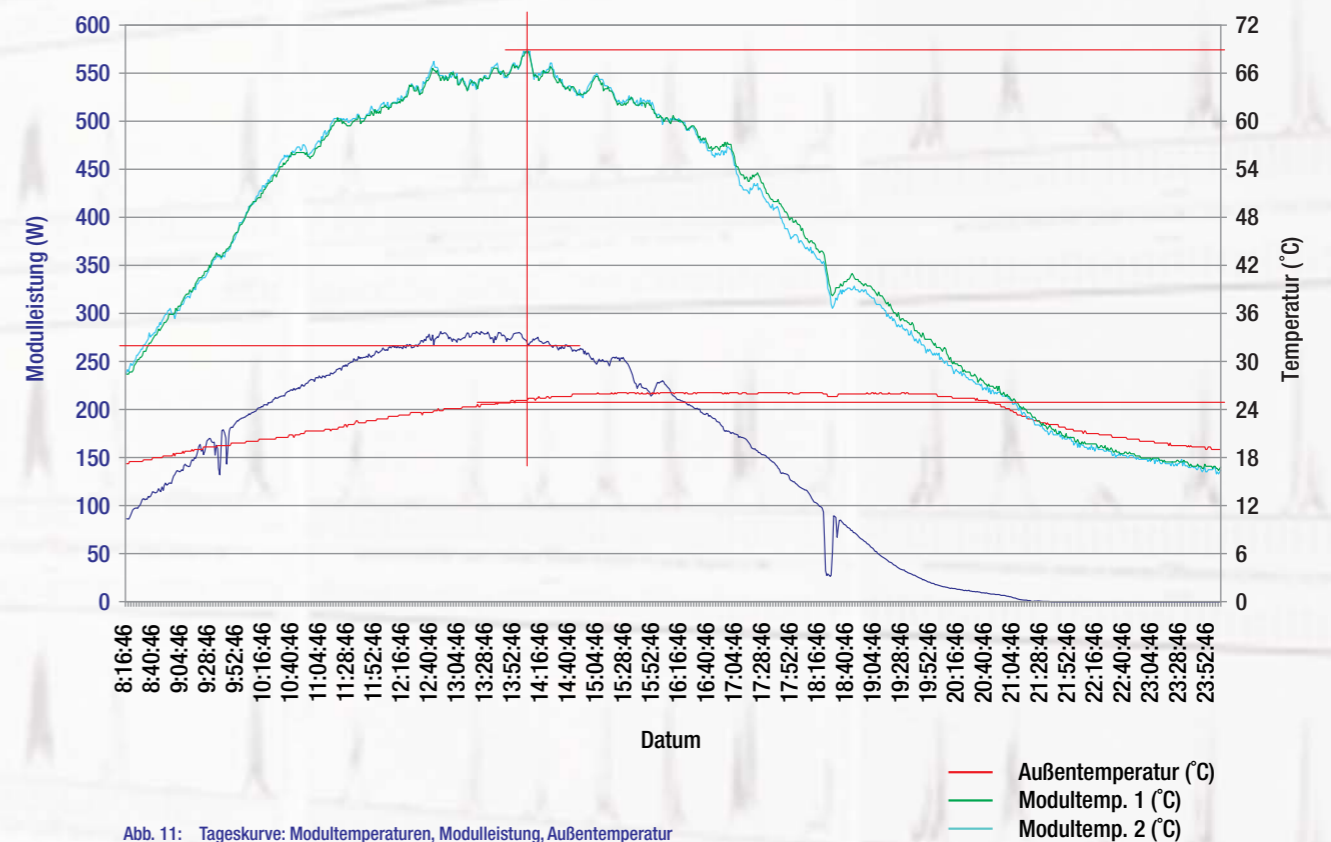
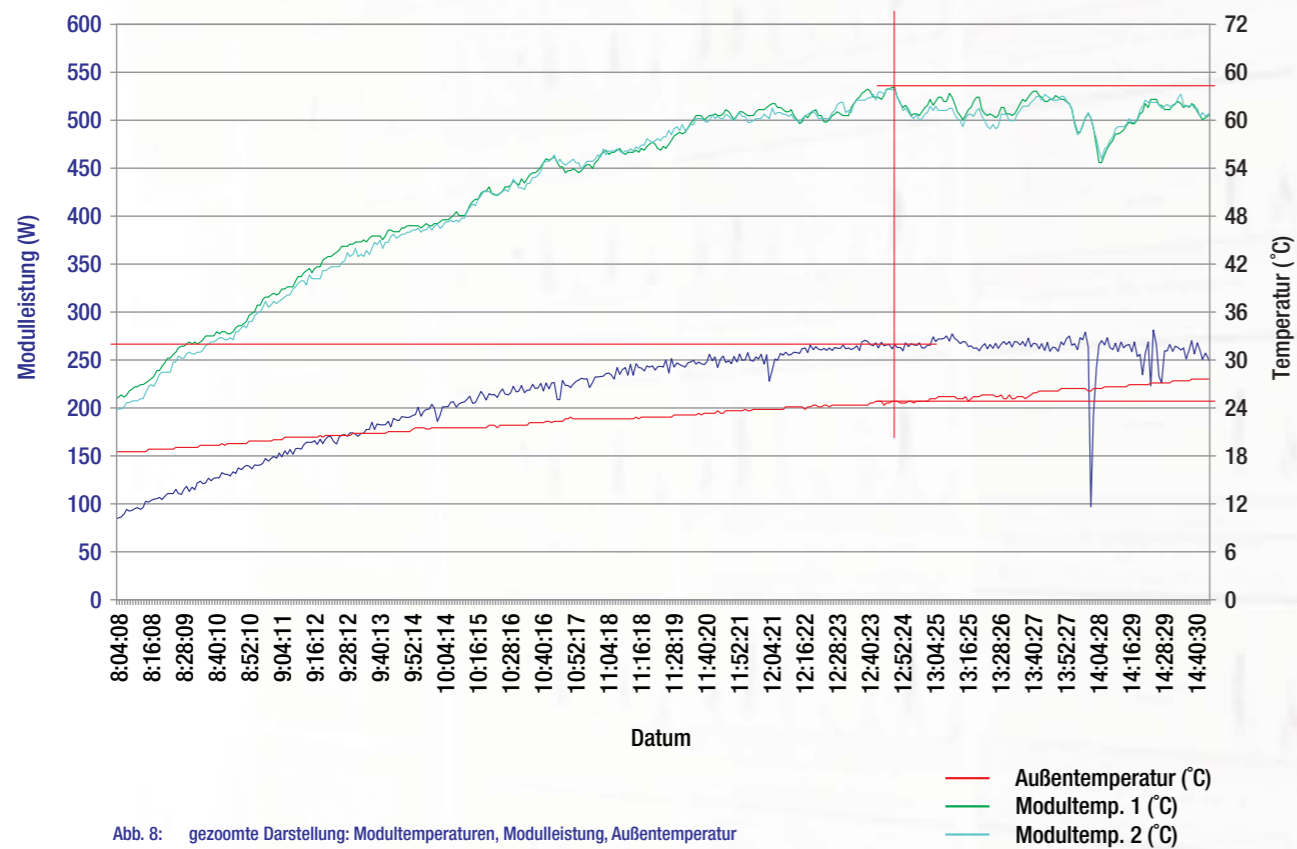
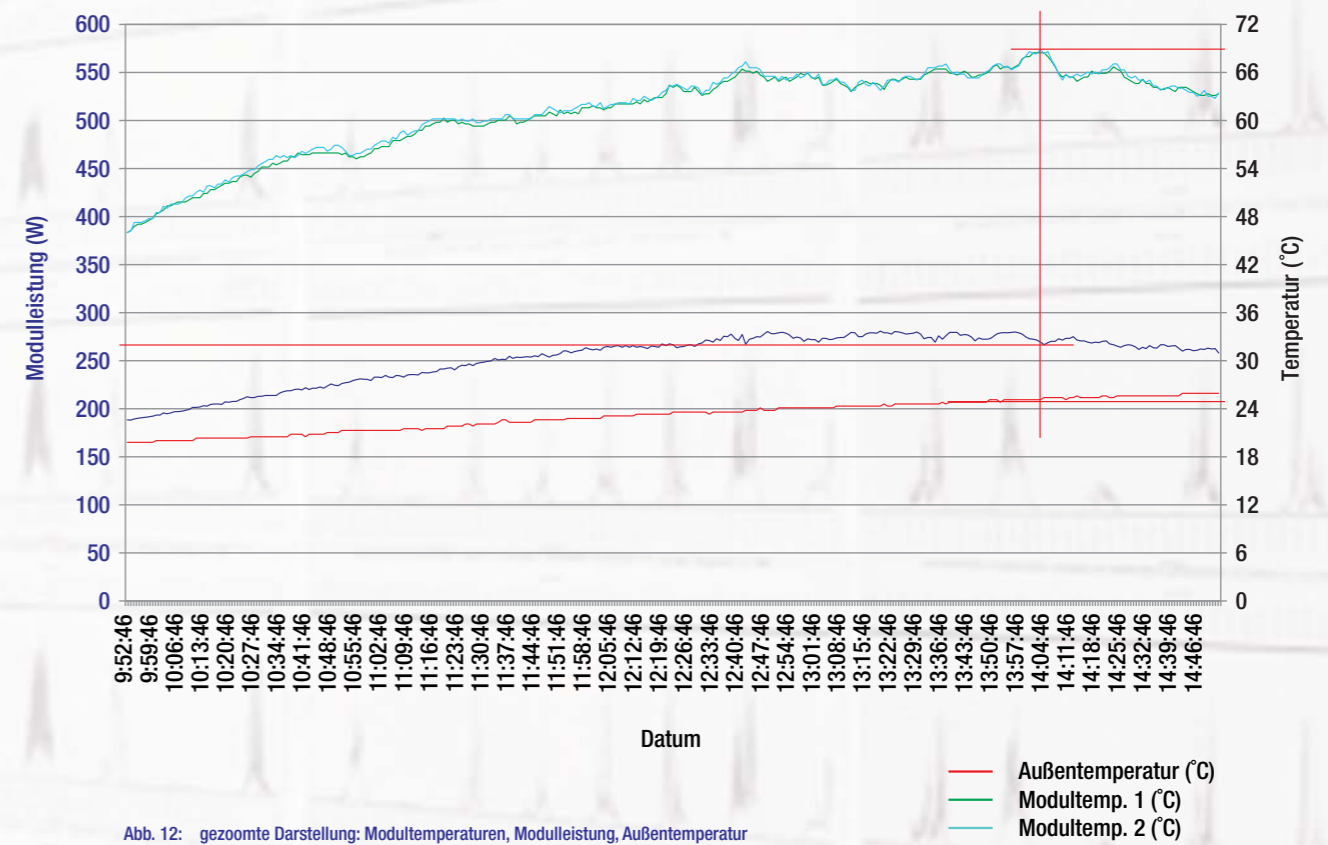


Abb. 11: Tageskurve: Modultemperaturen, Modulleistung, Außentemperatur

**Oberfläche schwarz-weiß,  
2 Module in Reihe, Wechselrichterbetrieb, 03.07.2009**



**Oberfläche schwarz,  
2 Module in Reihe, Wechselrichterbetrieb, 28.06.2010**



**Oberfläche schwarz-weiß,  
2 Module in Reihe, Wechselrichterbetrieb, 03.07.2009**

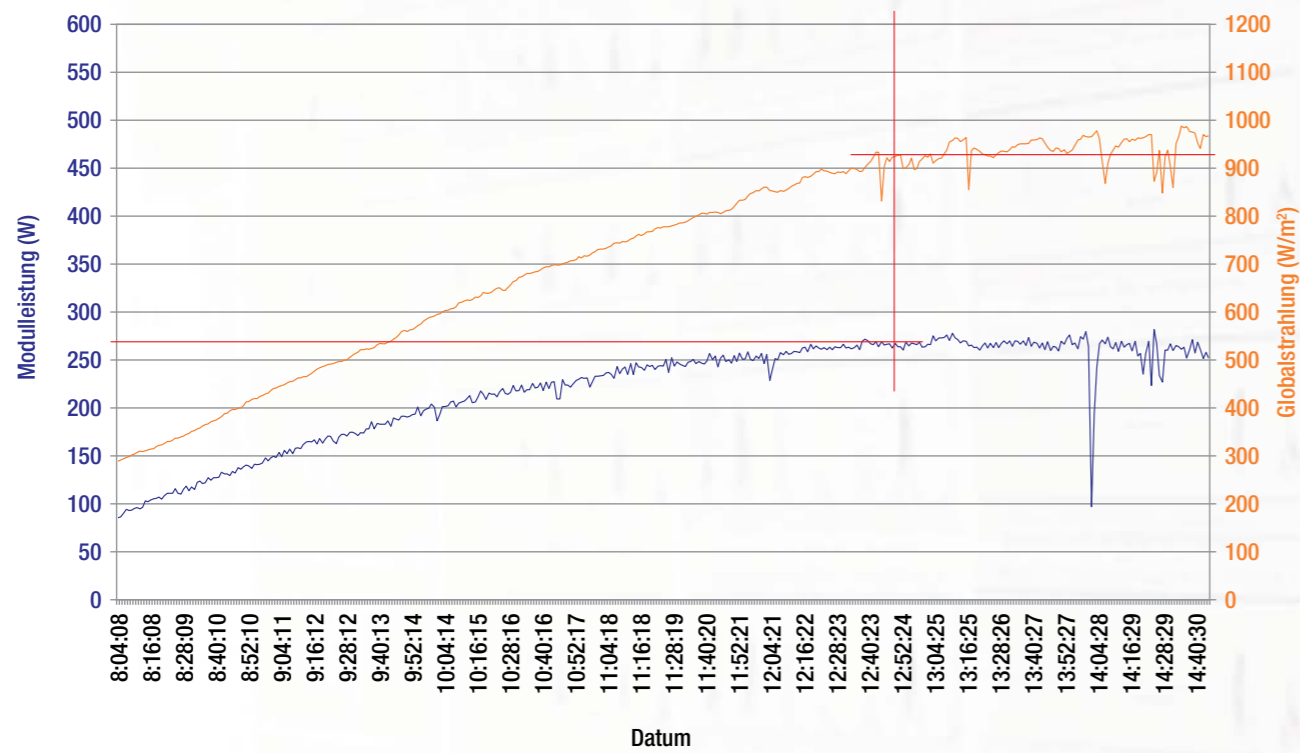


Abb. 9: gezoomte Darstellung: Globalstrahlung, Modulleistung

**Oberfläche schwarz,  
2 Module in Reihe, Wechselrichterbetrieb, 28.06.2010**

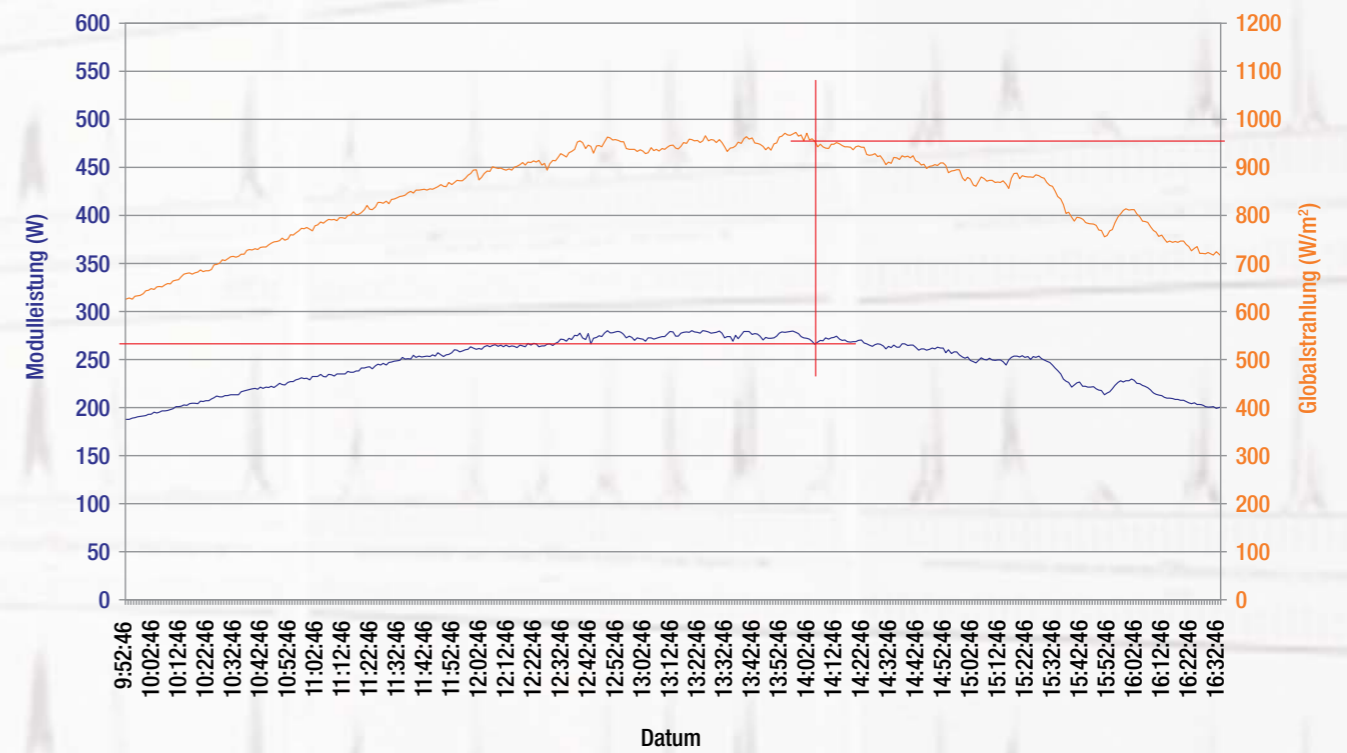


Abb. 13: gezoomte Darstellung: Globalstrahlung, Modulleistung

**Oberfläche schwarz-weiß,  
2 Module in Reihe, Wechselrichterbetrieb, 03.07.2009**

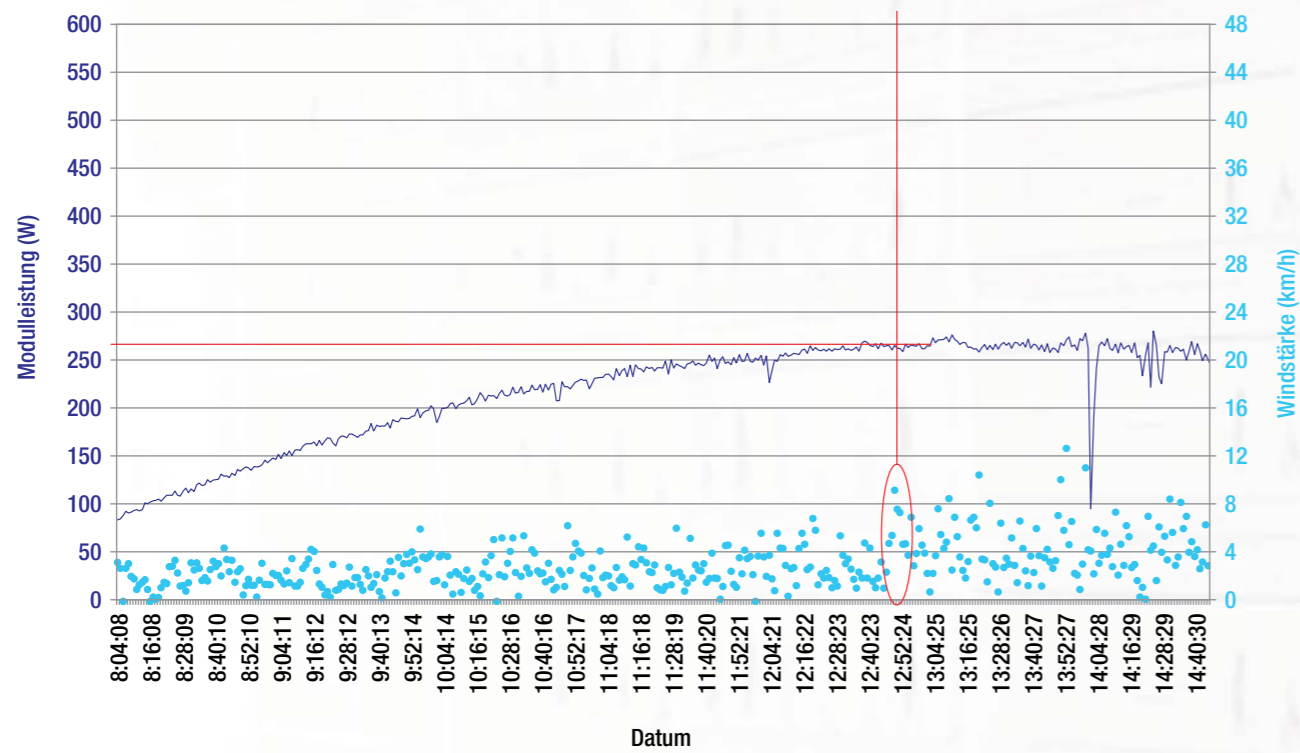


Abb. 10: gezoomte Darstellung: Windgeschwindigkeit, Modulleistung

**Oberfläche schwarz,  
2 Module in Reihe, Wechselrichterbetrieb, 28.06.2010**

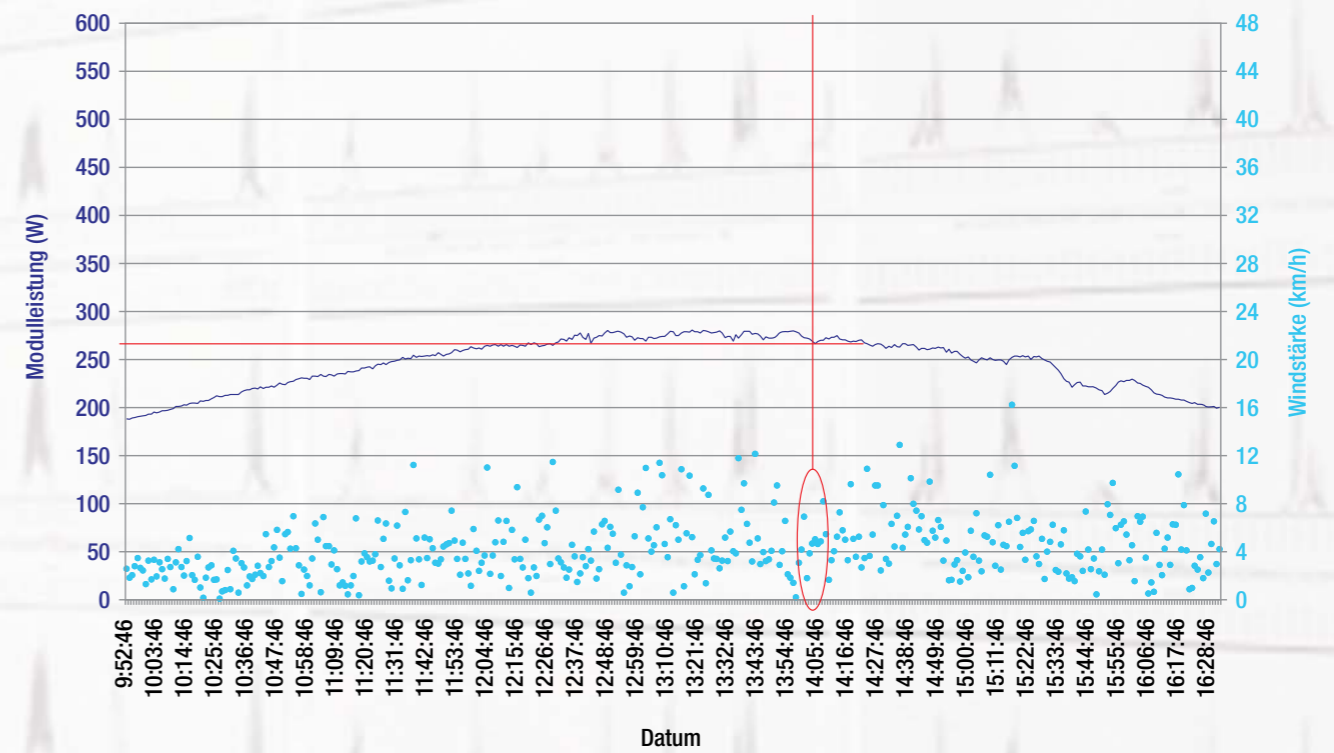


Abb. 14: gezoomte Darstellung: Windgeschwindigkeit, Modulleistung

## Die Ergebnisse in tabellarischer Darstellung

Datum	03.07.2009	28.06.2010
Moduloberfläche	schwarz-weiß	schwarz
Modultemperatur (°C)	64	69
Leistung Modulpaar (W)	~ 270	~ 270
Globalstrahlung (W/m <sup>2</sup> )	~ 920	~ 960
Windgeschwindigkeit (km/h)	ca. 8	ca. 8-9
Außentemperatur (°C)	~ 25	~ 25

### Überprüfung der Messungen mit den Datenblattwerten

Die Datenblatt-Werte (Nennwerte) werden unter sog. Standard-Test-Bedingungen STC (engl. Standard Test Conditions) im Labor ermittelt. Dabei muss eine Modultemperatur von 25°C eingehalten werden. Für jedes °C Temperaturerhöhung nimmt die Modulleistung um 0,45% ab.

Der Faktor -0,45% bezieht sich in diesem Falle auf die Nennleistung von 180 Wp (bei zwei Modulen in Reihe: 360 Wp) Weiterhin wurde bei den STC-Labortests eine Globalstrahlung von 1000 W/m<sup>2</sup> eingehalten.

### Für Module mit schwarz-weißer Oberfläche: -0,45%/°C

Bei diesen Modulen, die 64°C erreichten, ergab sich eine Leistungsabnahme von  $(64°C - 25°C) \times 0,45\% = 17,6\%$ , entsprechend 63,4 Wp. Das Modulpaar würde (rein rechnerisch) aufgrund der um 39°C höheren Temperatur nur noch 360 Wp – 63 Wp = 296,7 Wp an Leistung erbringen. Berücksichtigt man noch die Globalstrahlung, welche bei ca. 920 W/m<sup>2</sup> (also 8% unterhalb des STC-Wertes von 1000 W/m<sup>2</sup>) lag, sowie geringe Leistungsverluste durch die Zuleitungskabel und die „üblichen“ geringfügigen Verschmutzungen der Moduloberflächen, so zeigten unsere Messungen das reale Verhalten der PV-Module auf dem Dach. Die tatsächlich gemessene PV-Leistung des Modulpaares betrug bei 64°C Modultemperatur ca. 270Wp.

### Für Module mit schwarzer Oberfläche: -0,45%/°C

Hier ließ sich die gleiche Rechnung aufmachen: Diese Module erreichten in der Tagesspitze eine Temperatur von 69°C, wurden also 5°C heißer als die Module mit schwarz-weißer Oberfläche. Rein rechnerisch ergab sich wegen dieser 5° höheren Temperatur ein Verlust von 19,8 % – das entspricht 71,28 Wp. Ebenfalls rein rechnerisch würde das schwarze Modulpaar 288,7 Wp an Leistung erbringen. Die Globalstrahlung lag in diesem Fall bei 960 W/m<sup>2</sup> (also 4% unter dem STC-Wert). Auch in diesem Fall zeigte unsere Messung – unter Berücksichtigung geringer Zuleitungsverluste, geringfügiger „üblicher“ Oberflächenverschmutzung, sowie einer Globalstrahlung, die 4 % unter dem STC-Wert liegt – dass der real gemessene Leistungswert von ebenfalls ca. 270 Wp sehr nah an den rechnerischen Wert herankam.

## Fazit

### Leistungsverlust bei komplett schwarzen Modulen innerhalb des Toleranzbereichs

Die wichtigste Erkenntnis der Messreihen war, dass sich die PV-Module mit schwarzer Oberfläche, bei quasi identischen Umwelt-/Umgebungsbedingungen an typischen Sommertagen in der Spitze, nur geringfügig stärker erhitzen als vergleichbare Module mit schwarz-weißer Oberfläche. In unserem Fall waren es 5°C. Rein rechnerisch ergeben die 5°C einen Leistungsverlust von 2,3%. Bei „guten“ Herstellern, welche ihre Module sorgfältig, d.h. nach Plus-Toleranzen sortieren, würden sich diese 2,3% Verluste (verursacht durch 5°C höhere Modultemperaturen) noch in den allgemein üblichen Datenblatt-Nennleistungs-Toleranzen von +/-3% bewegen.

## Das Equipment

Gerät:	Typ:	Hersteller/Lieferant:
Multimeter	Fluke 45	Fluke
Multimeter	Fluke 89IV	Fluke
Wechselrichter	Soladin 600	Mastervolt
Selbst. Freischaltstelle	ENS 26	UfE
Messrechner	GX 260	Dell
Software	MS Visual Basic 6.0	Microsoft
Software	MS Excel 2003	Microsoft
PV-Module	ASM 180	ANTARIS-Solar
Pyranometer	CMP 3	Kipp u. Zonen
Anemometer	WW-B1 Typ3	Warema



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

## **TEC-Institut für Technische Innovationen 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](mailto:info@tec-institut.de)

Internet: [www.tec-institut.de](http://www.tec-institut.de)

