

# Externe Messungen an BP Solar 7180 Saturn Modulen in Australien und Deutschland

Steve Ransome<sup>1</sup>, Kai Deponte<sup>2</sup>, Nigel Mason<sup>1</sup>, Juan Fernandez<sup>3</sup>, Richard Russell<sup>3</sup>

1) BP Solar, Chertsey Road, Sunbury on Thames, TW16 7XA, UK

2) BP Solar, Max-Born-Straße 2, Hamburg, 22761 Deutschland

3) BP Solar, Poligono Industrial, Zona Oeste, Tres Cantos, 28760 Madrid, Spanien

Tel.: +44 1932 775711, Fax: +44 1932 762686

E-Mail: [steve.ransome@uk.bp.com](mailto:steve.ransome@uk.bp.com)

Internet <http://www.bpsolar.com>

## 1. Einleitung

Photovoltaikmodule vom Typ BP 7180 „Real Power“ hergestellt von BP Solar Tres Cantos in Spanien wurden unter Freifeldbedingungen seit Januar 2004 in Sydney (Australien) und seit Juli 2004 am ISET in Kassel (Deutschland) vermessen.

Die Modulleistungen wurden bei verschiedenen meteorologischen Bedingungen, wie Bestrahlungsdichte, Umgebungstemperatur, Windgeschwindigkeit, direkter/diffuser Bestrahlungsdichte und Einfallswinkel durch empirische Gleichungen modelliert [1][2]. Leistungen bei PTC-Bedingungen (Bestrahlungsstärke 1000 W/m<sup>2</sup>, Temperatur 20°C, Windgeschwindigkeit 1 m/s) und niedrigeren Bestrahlungsstärken wurden mit Werten aus Flashtests und Nennwerten verglichen.

Für den Leistungsfaktor  $P_{\max\text{Aktuell}} / P_{\max\text{Nenn}}$  wurden sehr hohe Werte erzielt. Selbst bei niedrigen Bestrahlungswerten von 200 W/m<sup>2</sup> wurden Werte von über 86 % erzielt.

## 2. Messungen

Bild 1 zeigt den Querschnitt durch die neue Laser Grooved Buried Contact (LGBC) Saturn Solarzelle, mit den 35 µm tiefen und 20 µm breiten u-förmigen Lasergräben. Der höher dotierte Emitter (n<sup>++</sup>) unter den Kontaktfingern minimiert den Übergangswiderstand. Durch eine weniger hoch dotierte Schicht (n<sup>+</sup>), wird die gute Nutzung des blauen Lichtanteils erreicht [3]. Der komplexe Aufbau des vielschichtigen Rückseitenkontakts ist vereinfacht dargestellt.

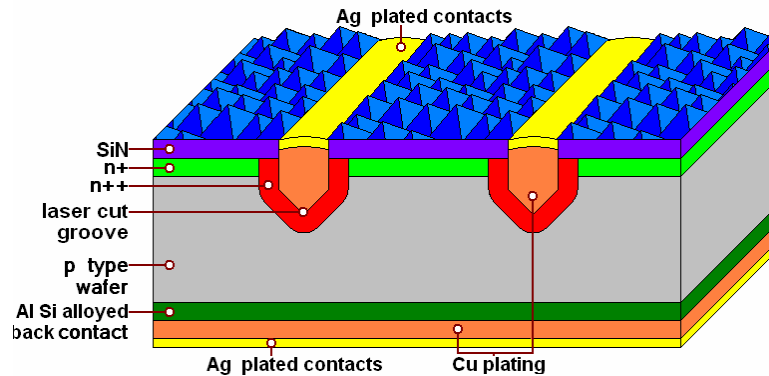


Bild 1: Querschnitt durch die neue LGBC Saturn Solarzelle

Das Bild 2 zeigt das Test-System auf dem Dach des Produktionsgebäudes von BP Solar in Sydney (Australien). Die IU-Kennlinien der Module werden alle 30 Minuten aufgenommen und die vom Modul abgegebene Leistung wird jede Minute gemessen. Das Bild 3 zeigt Module am ISET [4] in Kassel, wo sie an einem eigens entwickelten MPP-Tracker betrieben werden. Aus 15-Sekunden-Werten werden anschließend 10-Minuten-Mittelwerte gebildet.



Bild 2: Module in Sydney (Australien)



Bild 3: Module im ISET (Kassel, Deutschland)

### 3. Kalkulation von kWh/kW<sub>p</sub>-Werten

Wird die Energieproduktion (kWh) eines Solarmoduls über einen bestimmten Zeitraum betrachtet, erlauben zu geringe Werte als erwartet, Rückschlüsse auf Systemausfälle, Fehlanpassungen von Systemkomponenten oder Abschattung. Summierte Werte für den Leistungsfaktor kWh/kW<sub>p</sub> sind nur richtig, wenn alle Module auch richtig gemessen wurden. Alle Messungen müssen deshalb zuvor auf Plausibilität geprüft werden, bevor Abweichungen beim Leistungsfaktor in Verbindung mit der Modulleistung gebracht werden können. Die zu erwartenden

jährlichen kWh/kW<sub>p</sub>-Werte werden normalerweise berechnet als die gemessenen kWh/kW<sub>p</sub> der Testphase multipliziert mit der Einstrahlung des Referenz-Jahres dividiert durch gemessene Einstrahlung über die Testphase.

Eine bessere Methode die Modulleistung zu charakterisieren ist es, den gemessenen Ertrag in Bezug zur Bestrahlungsdichte (kW/m<sup>2</sup>) zum Messzeitpunkt zu setzen. Falls die DC-Spannung bekannt ist, sollte bei korrekter MPP-Regelung der Spannungsfaktor  $V_{DM} = V_{DC}/V_{max.nom}$  (Tabelle 1) im Bereich von 0,85-0,95 liegen (abhängig von der Modultechnologie und der Temperatur). Der normierte Stromfaktor  $I_{DN}$  sollte ebenfalls in dem spezifizierten Bereich von typischerweise 0,8 bis 1,2 liegen, um z. B. das korrekte Regelverhalten und den abschattungsfreien Betrieb zu bestätigen. Der Leistungsfaktor PF über der Bestrahlungsdichte aufgetragen, stellt sich normalerweise als homogene Kennlinie dar. Abweichungen sollten dahingehend untersucht werden, ob es sich um eine Moduleigenschaft handelt oder, wahrscheinlicher, ob Abschattungen, Reglerfehler oder andere externe Effekte vorliegen.

Nachdem diese fehlerhaften Daten entfernt wurden, können die empirischen Gleichungen <1> und <2> an den Ertrag, Abhängigkeiten der Bestrahlungsdichte, die Umgebungstemperatur und die gemessenen Windgeschwindigkeit angepasst werden, um dann eine optimierte Abschätzung bezüglich der Modulleistung zu erhalten.

Die empirischen Koeffizienten sind optimiert <1> um den DC-Ertrag YA an die Bestrahlungsdichte, Umgebungstemperatur und die Windgeschwindigkeit anzupassen, bei gleichzeitiger Minimierung des Fehlers durch Mittelwertbildung <2>.

$$Y_{A_{CALC}} = \Sigma G_I * (A + B * \Sigma G_I + C * T_{AM} + D * WS) - E \quad <1>$$

$$Y_{ERR} = [\Sigma (Y_{MEASURED} - Y_{A_{CALC}})^2]^{0.5} \quad <2>$$

Die Tabelle 1 zeigt einige Definitionen die hier angewandt wurden.

Abkürzung	Farbe	Bezeichnung	Einheit	Definition
$G_I$	türkis	Bestrahlungsdichte Modulebene	$\text{kW}/\text{m}^2$	
$T_{AM}$	gold	Umgebungstemperatur	$^{\circ}\text{C}$	
$T_M$	orange	Modultemperatur	$^{\circ}\text{C}$	
WS	grau	Windgeschwindigkeit	$\text{ms}^{-1}$	
YA	lila	DC-Ertrag	$\text{Wh}/\text{W}_p$	$=\sum P_{DC}/P_{MAX}$
PF	hellgrau	DC-Leistungsfaktor		$=YA/YR$
$V_{DM}$	blau	DC-Spannungsfaktor		$=V_{DC}/V_{MAX.}$
$I_{DN}$	schwarz	Normierter DC-Strom		$=I_{DC}/I_{MAX}/G_I$

Tabelle 1 : Einige wichtige Parameter

Die Bilder 4 und 5 zeigen in Sydney gemessene stündliche Leistungswerte eines Standardmoduls des Typs BP 7180 (oben) und eines mit ARC-Verfahren hergestellten Mustermoduls (unten), über der Bestrahlungsdichte dargestellt (einige fehlerhafte Werte wurden ausgefiltert). Anzumerken ist, dass der Leistungsfaktor für beide Module über den gesamten Bereich der Bestrahlungsdichte sehr gut ist.

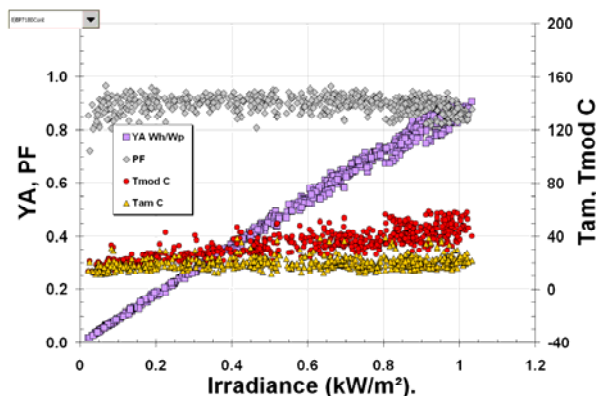


Bild 4: Leistungsverhalten eines Standardmoduls BP 7180 in Sydney. Bemerkenswert ist die optimal hohe Konstanz bei allen Lichtverhältnissen

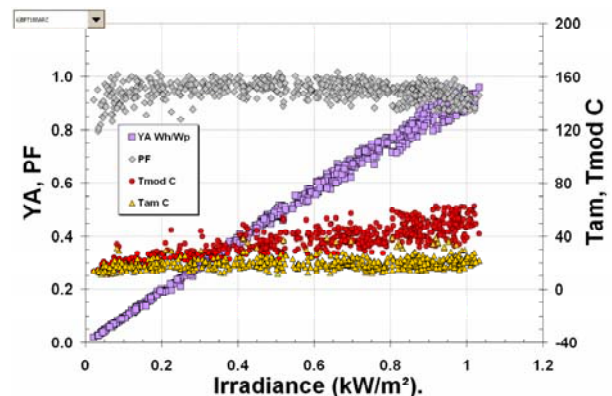


Bild 5: Leistungsverhalten eines im ARC-Verfahren hergestellten BP-Moduls 7180, ebenfalls in Sydney. Dieses hat einen ebenso guten, gleichmäßigen Leistungsfaktor über den weiten Bereich der Bestrahlungsdichte, jedoch eine um 5% höhere Leistungsabgabe.

Die Tabelle 2 zeigt einige Ergebnisse zum Leistungsverhalten, von geflashten Modulen bei STC-Bedingungen und interpolierten Werten auf PTC-Bedingungen,

jeweils bei niedrigen Bestrahlungsdichten von  $200 \text{ W/m}^2$ . Es ist anzumerken, dass die Interpolation aus realen gemessenen Daten erfolgte. Die Verluste durch Einfallswinkel des Lichtes, Schmutz, Sonnenlichtspektrum und nicht optimalem Tracking sind hier enthalten. Hierbei verlässt man sich nicht auf einfache nicht physikalische Annahmen, wie sie in vielen anderen Modellen und Auslegungsprogrammen benutzt werden. Die Sydney-Daten für  $P_{\max}$  und Leistungsfaktor, wurden aus aufgenommenen Kennlinien ermittelt, also wahren Werten. Sie zeigen eine deutliche Übereinstimmung des Leistungsfaktors PF sowohl bei Werten um  $200 \text{ W/m}^2$  als auch bei  $1000 \text{ W/m}^2$ .

	ARC oder Standard	“STC“ 1000 $\text{W/m}^2$ , AM1.5, $T_{\text{MOD}}=25^\circ\text{C}$ , WS=0	“PTC“ 1000 $\text{W/m}^2$ , $T_{\text{AM}}=20^\circ\text{C}$ , WS=1 $\text{ms}^{-1}$	“Low light“ 200 $\text{W/m}^2$ , $T_{\text{AM}}=20^\circ\text{C}$ , WS=1 $\text{ms}^{-1}$
Standort, Kanal		$P_{\text{FLASH}} W_p$	$P_{\text{gemessen}} W_p$ (PF %)	$P_{\text{gemessen}} W_p$ (PF %)
SYDNEY, 6	ARC	186	164 (91%)	34 (94%)
SYDNEY, 8	Standard	180	156 (86%)	32 (88%)
ISET, 9	ARC	185	163 (91%)	34 (94%)
ISET, 10	Standard	180	154 (86%)	32 (88%)

Tabelle 2: Leistungsfaktoren bei STC- und angepassten PTC-Bedingungen, sowie bei niedrigen Bestrahlungsleistungen. Zu bemerken ist, dass die Modultemperaturen annähernd  $50^\circ\text{C}$  bei PTC-Bedingungen betragen.

#### 4. Zusammenfassung

Das Solarmodul des Typs BP 7180 von BP Solar wurde in Sydney (Australien) und Kassel (Deutschland) im Freifeld unter realen Betriebsbedingungen betrieben und gemessen. Empirische Anpassungen wurden benutzt, um die Modulleistung bei PTC-Bedingungen herzuleiten. Die Ergebnisse wurden mit Werten aus Flashtests und Nennleistungen verglichen. Die Module erzielten, auch bei niedrigen

Bestrahlungsdichten von  $200\text{W/m}^2$  sehr gute Leistungsfaktoren von größer 86 %. Bemerkenswert ist auch die gute Lichtausbeute bei Schwachlichtverhältnissen von keiner als  $50\text{W/m}^2$ .

## 5. Referenzen

[1] 7P-B3-03 : An overview of 4 years of kWh/kW<sub>p</sub> monitoring,  
S Ransome and J Wohlgemuth, WCPEC-3 Osaka Japan 2003

<http://www.bpsolar.com/ContentDocuments/154/7p-b3-03.pdf>

[2] A Summary of 6 years performance modelling from 100+ sites worldwide ,  
S Ransome and J Wohlgemuth, 31<sup>st</sup> PVSC Orlando Florida 2005,

[http://www.bpsolar.com/ContentDocuments/154/Summary\\_Perf\\_Modelling\\_preprint\\_SJR\\_et\\_al.pdf](http://www.bpsolar.com/ContentDocuments/154/Summary_Perf_Modelling_preprint_SJR_et_al.pdf)

[3] 5BV-2-65: The technology and performance of the latest generation buried  
contact solar cell manufactured in BP Solar's Tres Cantos facility,  
NB Mason et al, 19th PVSEC Paris 2004,

[http://www.bpsolar.com/ContentDocuments/154/5BV\\_2\\_65.pdf](http://www.bpsolar.com/ContentDocuments/154/5BV_2_65.pdf)

[4] Institut für Solare Energieversorgungstechnik,

<http://www.pvtestlab.de/>