

# **4% höherer Energieertrag bei einem 83 kW<sub>p</sub> Testfeld in Deutschland, mit antireflexbeschichteten BP Solar-Modulen der Saturn 7-Serie**

S. J. Ransome<sup>1</sup>, K. Deponete<sup>2</sup>, A. Artigao<sup>3</sup>, J.M. Fernandez<sup>3</sup>,  
J.H. Wohlgemuth<sup>4</sup>, D.W. Cunningham<sup>4</sup>, A.M. Nguyen<sup>4</sup> and J. Shaner<sup>4</sup>

<sup>1</sup>BP Solar, Chertsey Road, Sunbury upon Thames, Middlesex, TW16 7LN, UK

<sup>2</sup>BP Solar, Max-Born-Straße 2, Hamburg, 22761 Deutschland

<sup>3</sup>BP Solar, Pol. Ind. Tres Cantos, Madrid 28760, Spain

<sup>4</sup>BP Solar International, 630 Solarex Court, Frederick, MD 21754 USA

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**

Antireflex-Beschichtungen auf der Außenseite des Glases können die Lichteinkopplung in ein PV-Modul verstärken und auf diese Weise dessen Wirkungsgrad erhöhen. Obwohl AR-Glas seit Jahren erhältlich ist, konnten diese Beschichtungen den äußeren Witterungsbedingungen nicht langfristig standhalten. Jüngste Entwicklungen in der Glasbeschichtungstechnologie konnten die Haltbarkeit der Beschichtungen im Freien, selbst bei saurem Regen, verbessern und werden in Deutschland getestet.

Vorher konnte BP Solar eine 2,4 bis 3%-ige Leistungsverstärkung von AR-beschichteten Modulen unter STC (1000W/m<sup>2</sup> senkrechter Einfall, AM1.5G Spektrum, T<sub>CELL</sub>=25°C, kein Wind) in erster Linie aufgrund eines höheren Stromes nachweisen [1][2][3]. Bei Modulpaaren, in Deutschland und Australien im Freien getestet, ergaben sich, je nach Jahreszeit und Standort Verstärkungen von 4 bis 6%.

Um die Leistungsfähigkeit von AR-Glas besser beurteilen zu können, wurde ein umfangreicher Probelauf durchgeführt. Die im Rahmen des Probelaufs gebauten AR- und Standard-Kontroll-Module wurden in zwei ansonsten identischen 41,5kW<sub>p</sub>-Systemen installiert. Die Leistung beider Systeme wurde seit dem 1. April 2005 kontinuierlich von activ solar überwacht, um die Energieerzeugung beider Systeme über einen längeren Zeitraum zu ermitteln.

## 2. Modulherstellung

Die Module mit tauchbeschichtetem AR-Glas wurden einer erweiterten Version der IEC61215 von BP Solar [4] unterzogen. Zur Testsequenz gehört, dass die Module 500 thermischen Kreisläufen von  $-40^{\circ}\text{C}$  bis  $+85^{\circ}\text{C}$ , 1.250 Stunden feuchte Hitze bei  $85^{\circ}\text{C}$  und einer relativen Feuchtigkeit von 85% sowie einem kombinierten Durchgang von thermischen UV/50- und 10 Feuchtigkeits-Frost-Kreisläufen ausgesetzt werden. Die mit AR-beschichtetem Glas ausgestatteten Module bestanden die Eignungstests erfolgreich ohne jegliche, sichtbare Zeichen einer Zersetzung der Beschichtungen oder eines Leistungsverlustes der Module.

Der Probelauf beinhaltete 231 mit AR-Glas und 231 mit Standard-Glas ausgestattete Module. Die Module wurden abwechselnd produziert (jeweils ein AR-Modul und danach ein Standard-Modul), um eine eventuelle Variabilität der Ergebnisse auszuschließen. Die STC-Leistungsverbesserung des AR-Glases betrug 2,4% und wurde erwartungsgemäß von erhöhtem Kurzschlussstrom dominiert.

## 3. Das Feld

Die Module des Probelaufs wurden im April 2005 auf dem Dach eines Gebäudes in Assamstadt, Deutschland, installiert. Die beiden Felder haben eine Neigung von  $20^{\circ}$ , sind nahezu genau nach Süden ausgerichtet und keiner Verschattung ausgesetzt. Jedes Feld enthält 7xSB5000 mit je  $11 \times 3 \times 180\text{Wp}$  Modulen. Die Abbildung 1 zeigt jeweils einen Teil der beiden Felder mit deutlich erkennbarem Unterschied der Reflexion.

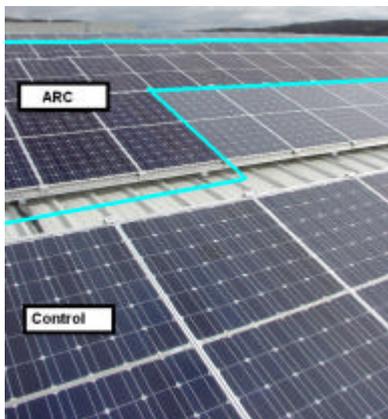


Abbildung 1:

Bild der Testfelder bei Bewölkung. Beachten Sie, dass die AR-Module im hinteren Teil selbst bei Bewölkung eine dunklere Farbe (die eine geringere Reflexion indiziert) aufweisen, als die mit Kontroll-Glas ausgestatteten Module im Vordergrund.

## 4. Externe Messungen

Der Sunny Boy Control erfasst alle 5 Minuten die Bestrahlungsstärke (geneigt), die Umgebungs- und Modultemperaturen, die Windgeschwindigkeit sowie die DC-Spannung und die DC- & AC-Leistung jedes einzelnen der 14 Wechselrichter.

Daraus werden AC-Ertrag (YF kWh/kW<sub>p</sub>) und Leistungsverhältnis (PR) jedes Strings als Funktionen von Datum/Zeit, Bestrahlungsstärke und Temperatur (siehe auch IEC 61724) errechnet.

Die Abbildung 2 zeigt den PR der AR- und der Kontrollfelder an einem sonnigen Tag. Ersichtlich ist, dass der Leistungsquotient bei den AR-Modulen über den ganzen Tag höher ist, insbesondere am frühen Morgen und am späten Nachmittag, wenn die Bestrahlung gering und der Einstrahlungswinkel zum Modul flach ist.

Die AR-bedingte Ertragssteigerung schwankt zwischen ~3% am Mittag und bis zu 8% Morgens und Abends.

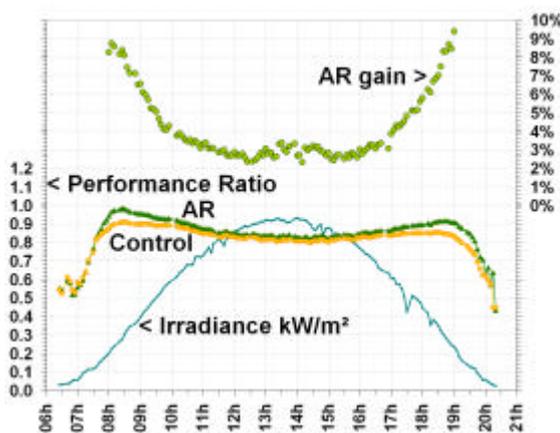


Abbildung 2:  
Typische AC-Leistung der AR- und Kontrollfelder an einem sonnigen Tag.

Es kann ermittelt werden, wie viel zusätzliche Energie vom AR-Feld erzeugt wird, wenn man die kWh/kW<sub>p</sub>-Leistungsabgabe jedes Strings miteinander vergleicht. Die Abbildung 3 zeigt den kumulativen AC-Ertrag YF in kWh/kW<sub>p</sub> sowie die kumulative Sonneneinstrahlung auf die Modulfelder von April bis Mitte November 2005.

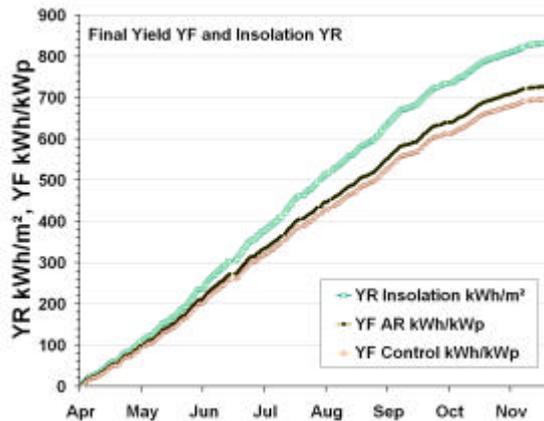


Abbildung 3:  
Erhöhter Energieertrag (YF kWh/kW<sub>p</sub>) des AR-Feldes im Vergleich zum Kontrollfeld von April bis Mitte November 2005.

Abbildung 4 zeigt die durchschnittliche tägliche Steigerung des AR-Feldes im Vergleich zum Kontrollfeld sowie die tägliche Sonneneinstrahlung in kWh/m<sup>2</sup>/d.

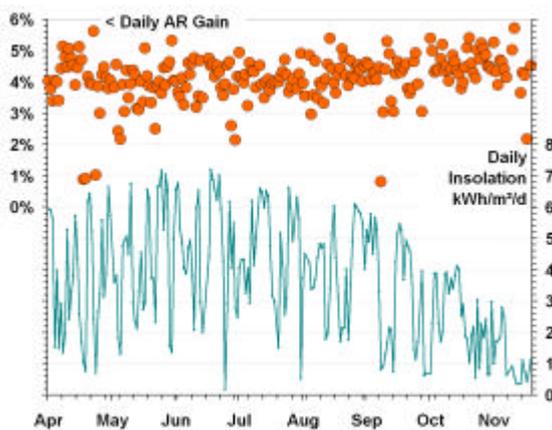


Abbildung 4:  
Tägliche Steigerung von ca. 4% bei den AR-Modulen gegenüber den Kontroll-Modulen und Sonneneinstrahlung in kWh/m<sup>2</sup>/d.

Die Ergebnisse des gesamten Zeitraumes zeigen, dass das Feld mit AR-Modulen 4% mehr Energie erzeugt hat, als das Feld mit Standardmodulen (was mit den unter STC am Simulator gemessenen 2,4%-igen Leistungssteigerung verglichen werden sollte). Offensichtlich kann die Menge des reflektierten Lichtes unter anderen als STC Bedingungen mittels AR-Beschichtung effektiver reduziert werden.

- Bei starker Bestrahlung beträgt die AC-Leistungssteigerung ca. 3% und liegt damit geringfügig über den am Simulator gemessenen 2,4% (die lediglich aus senkrecht einfallender Strahlung resultieren, obgleich die Strahlung im Freien immer etwas gestreut ist und die Direktstrahlung fast nie exakt senkrecht einfällt).
- Bei geringerer Einstrahlung steigt die Leistungssteigerung auf mehr als 5%.

## 5. Zusammenfassung

- Tauchbeschichtetes AR-Glas führt zu signifikanten Steigerungen (2,4 bis 3%) der Modul-Leistung unter STC-Bedingungen.
- Im Freien erzeugen diese Module über 4% mehr Energie (kWh/kW<sub>p</sub>).
- Der Leistungsunterschied ist darauf zurückzuführen, dass die Beschichtung die Menge des reflektierten Lichtes bei nicht senkrechtem Einfall reduziert.
- BP Solar verwendet dieses neuartige Glas bereits seit dem Sommer 2005 bei allen Modulen der Saturn 7-Serie.

## 6. Referenzen

Siehe Veröffentlichungen von BP Solar unter <http://www.bpsolar.com/techpubs>

[1] J. Wohlgemuth, D. Cunningham, J. Shaner, A. Nguyen, S. Ransome und A. Artigao, 'Crystalline Silicon Photovoltaic Modules with Anti-Reflective Coated Glass', Proceedings 31st IEEE PVSEC, Orlando, 2005.

[2] J.H. Wohlgemuth, D.W. Cunningham, A.M. Nguyen, J. Shaner, S.J. Ransome, A. Artigao und J.M. Fernandez "Increased energy collection using Anti-Reflective Coated glass", Proceedings 20th European PVSEC, Barcelona, 2005

[3] Steve Ransome, Kai Deponte, Nigel Mason, Juan Fernandez und Richard Russell "Externe Messungen an BP Solar 7180 Saturn Modulen in Australien und Deutschland" (nur auf Deutsch) Staffelstein, 2005.

[4] IEC 61215 "Crystalline Silicon Terrestrial Photovoltaic Modules – Design Qualification and Type Approval".

## 7. Danksagung

Die Autoren bedanken sich hiermit ausdrücklich bei André Pohl (activ solar), Peter Funtan (ISET) und Stephen Poropat (BP Solar Australien) für Ihre Unterstützung bei dieser Arbeit.

## **Abstract**

- BP Solar have previously reported that Anti-reflective (AR) coated glass results in a 2.4 to 3% increase in output power at STC (Standard Test Conditions) for both BP Saturn 7-Series (Saturn mono-) and BP Poly 3-Series (multi-) crystalline silicon PV modules [1][2][3].
- The AR coating changes the front surface reflection of the glass in a manner which is both Angle of Incidence (AOI) and wavelength dependent and thus the instantaneous outdoor gain will depend on the prevailing meteorological conditions.
- As a long term test two 41.5kWp nominal arrays identical except for the type of glass used (each containing 231 \* ~180Wp modules) were set up in April 2005 in Germany.
- The array with AR coated glass has produced an average of 4% more energy than the array with standard glass. The largest relative difference in performance occurred at low light levels and also at bright conditions with a high AOI.