



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

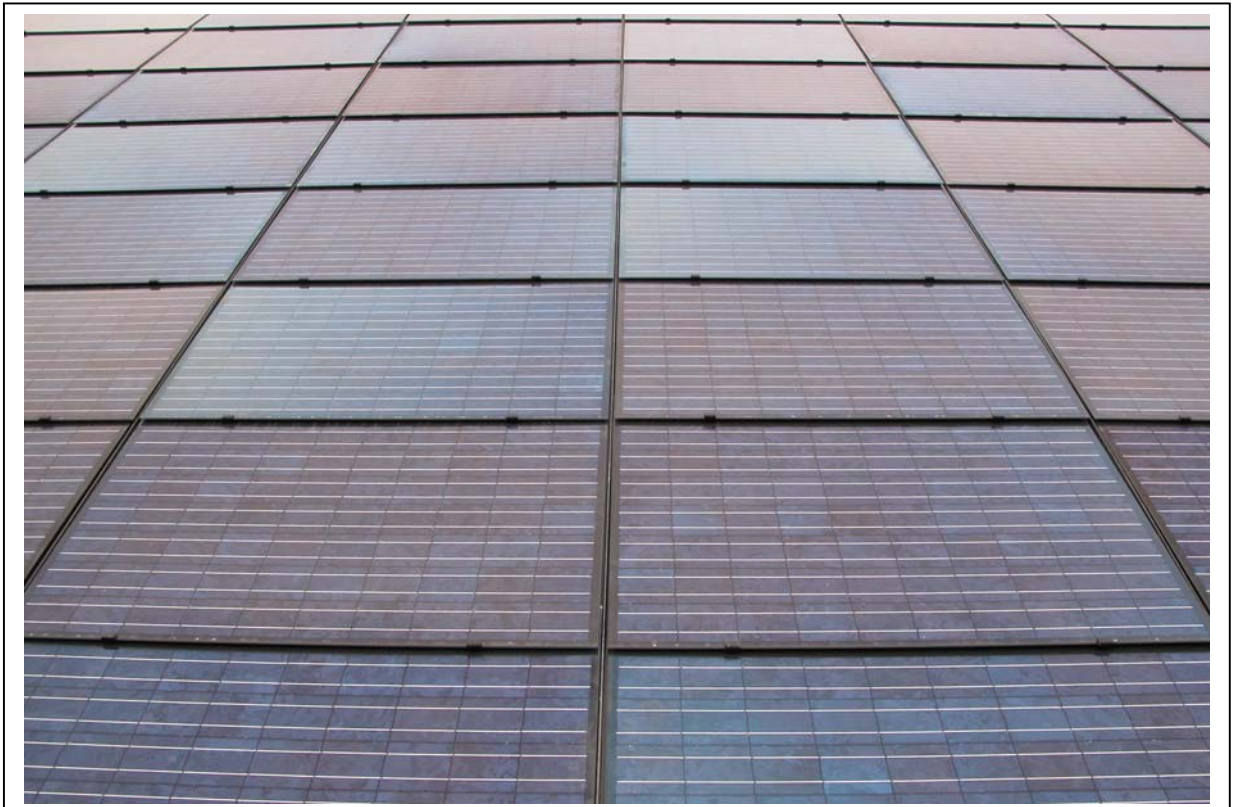
Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

PV-MODULES WITH ANTIREFLEX GLASS

Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

Christoph Schilter, Tamás Szacsavay, 3S Swiss Solar Systems AG
Schachenweg 24, CH-3250 Lyss, info@3-s.ch, <http://www.3-s.ch>



Impressum

Datum: Juni 2007

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Forschungsprogramm Photovoltaik

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00

www.bfe.admin.ch

BFE-Projektleiter: Herr Urs Wolfer, Bereichsleitung aktive Sonnenenergie, urs.wolfer@bfe.admin.ch

Projektnummer: 100297 / 150369

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Zusammenfassung

Das Projekt „Photovoltaik Module mit Antireflex Glas“ überprüft die Aussage des dänischen Herstellers „Sunarc“, welche einen Leistungs- und Ertragsgewinn von mehr als 3% durch den Einsatz von antireflexgeätztem Glas propagiert.

Zu diesem Zweck wurden auf demselben Fertigungsweg Module mit Antireflexglas und normalen Glas gefertigt. Zur Quantifizierung der relativen Einflüsse wurden bei jedem Fertigungsschritt die Leistungsdaten der Test-Module gemessen. Die Zellen waren handverlesen und stammten aus einem engen Leistungsband. Erst wurden die Zellennetze vermessen, und nach der Lamination die Module.

Zusätzlich wurden einige Module nachträglich nach der Lamination im Säurebad mit der Antireflexoberfläche versehen und nochmals gemessen. Die Leistungsmessungen wurden mittels einem Flasher, sowie durch Messungen im Aussenbereich durch das TISO ausgeführt.

Eine Steigerung der Leistung um mehr als 3% kann nicht nachgewiesen werden. Jedoch wurde eine Differenz von mindestens 2% zwischen Modulen mit und ohne Antireflex-Behandlung nachgewiesen. Ferner können die Module mit Antireflexglas bei einer Einstrahlung mit einem kleinen Winkel mehr Leistung abgeben. Mit der vorliegenden Testreihe konnte dieser Effekt allerdings nicht schlüssig quantifiziert werden.

Abstract

This project intends to quantify the increase in power-output of photovoltaic-elements thanks to the use of antireflective etched solar glass. It comprises production and performance testing of modules with and without treatment. Performance measurements are made indoor with a flasher and also outdoor. Outdoor measurements comprise power analysis subject to the angle of the irradiation, as well as measurements of yield.

The increase in power output of 3% or more, which the supplier states in his marketing documents, cannot be confirmed. However, a significant increase in power has been measured. A difference of at least 2% can be measured in comparison with modules without antireflective treatment. An improvement in the behaviour at low angles of irradiation in outdoor tests could be observed. It was however not possible with this tests and the limited number of samples to reliably quantify this effect.

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage / Projektziele	4
2	Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse	4
3	Ergebnisse	5
3.1	Differenz zwischen Netzleistung und Laminatleistung.....	5
3.2	Nachträgliches Ätzen der Oberfläche	7
3.3	Freilandmessung.....	8
3.4	Diskussion der Resultate	10
4	Nationale / internationale Zusammenarbeit	11
5	Schlussfolgerung / Perspektiven	11
6	Referenzen / Publikationen	11

1 Ausgangslage / Projektziele

In den Unterlagen von der Firma „Sunarc“ wird ein Leistungs- und Ertragsgewinn von mehr als 3% durch den Einsatz von antireflexgeätztem Glas angegeben. Kann dies bestätigt werden, dürfte dies der vermehrten Anwendung von geätztem Antireflexglas Auftrieb geben. Eine solche Steigerung mit relativ einfachen Mitteln ist für die Photovoltaik attraktiv [1] [2].

Das vorliegende Projekt untersucht den Einfluss von antireflexgeätztem Gläsern auf die Leistung von Solarmodulen.

Der Einfluss der Antireflexoberfläche soll einmal im Quervergleich zwischen Modulen mit standardmässig geätztem und Modulen mit demselben, unbehandelten Glas untersucht werden. Weiter soll bei Modulen, welche erst nachträglich im Säurebad behandelt werden, die Veränderung der Leistung quantifiziert werden. Die Indoor-Leistungsmessungen werden doppelt ausgeführt, zum einen mit dem Halogenleuchttisch bei 3S und beim TISO mittels einer Flashmessung. Freiluft-Leistungsmessungen werden ausschliesslich durch das TISO ausgeführt.

Wird ein Leistungs- und Ertragsgewinn nachgewiesen, so kann eine marktwirtschaftliche Evaluation durchgeführt werden. Diese ist nicht Gegenstand dieses Forschungsprojektes. Es soll nur die Grundlage für diese Diskussion bereitgestellt werden.

2 Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Die Quantifizierung der Leistungsunterschiede wird mit Messungen nach den einzelnen Arbeitsschritten dokumentiert. Für die möglichst einheitliche Leistung der Modulen wurden handverlesene und einzeln vermessene Zellen verwendet. Nach der Herstellung der Netze wurden diese gemessen. Die Handhabung der verlöteten Netze musste sehr vorsichtig geschehen – bei der Messung beim TISO ist ein Zellenbruch entstanden, und dieses „Reservenetz“ konnte nicht weiter verarbeitet werden.

Antireflexgeätztes Glas

Optisch kann nur bei schrägem Lichteinfall ein Unterschied der Oberfläche wahrgenommen werden. Fährt man jedoch mit der Hand über die Oberfläche, spürt man einen deutlichen Unterschied (feines Schleifpapier, leicht „klebrig“). Auch sind Fingerabdrücke darauf besser sichtbar.

Leistungsmessungen

Bei den verschiedenen Leistungsmessungen liegt das Augenmerk nicht auf den absoluten Werten, sondern auf dem Quervergleich. Folgende Messungen sind durchgeführt worden:

- Netzmessung (Flash)
- Modulmessung (Flash)
- Modulmessung mit nachträglicher AR-Ätzung (Flash)
- Modulmessung nach einer Exposition von mindestens 50kWh/m² (Flash)
- Leistungsmessung bei verschiedenen Strahlungsintensitäten (Flash)
- Freiluftmessungen bei verschiedenen Einstrahlungswinkeln (Leistung)
- Freiluftmessung Juni bis September 2006 (Ertrag), plus Flashmessungen vorher und nachher

3 Ergebnisse

3.1 Differenz zwischen Netzleistung und Laminatleistung

Die handverlesenen Zellen wurden zu Netzen zusammengelötet und ihre Leistungsdaten mit einer Flashmessung im TISO quantifiziert. Anschliessend wurden sie auf verschiedene Gläser verteilt und entsprechend der vorgesehenen Versuchsanordnung laminiert:

(Netz 4865/03 ging bei der Messung im TISO kaputt = Zellenbruch)

Netze	AR-Glas	Normal	PT 100	Weisse RWF	Anthrazit RWF
4865/01		X	X	X	
4865/02		X		X	
4865/04		X	X		X
4865/05		X			X
4865/06		X	X		X
4865/07		X			X
4865/08		X	X		X
4865/09		X			X
4865/10		X	X	X	
4865/11	X		X		X
4865/12	X		X		X
4865/13	X		X		X
4865/13	X				X

Tabelle 1: Konzept
(PT 100: Temperaturfühler hinter Zelle (3/3), RWF = Rückwandfolie)

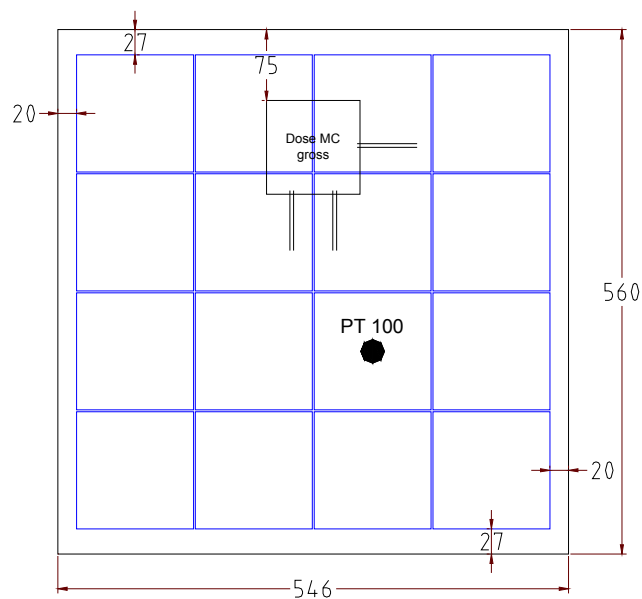


Abbildung 1: Modul layout

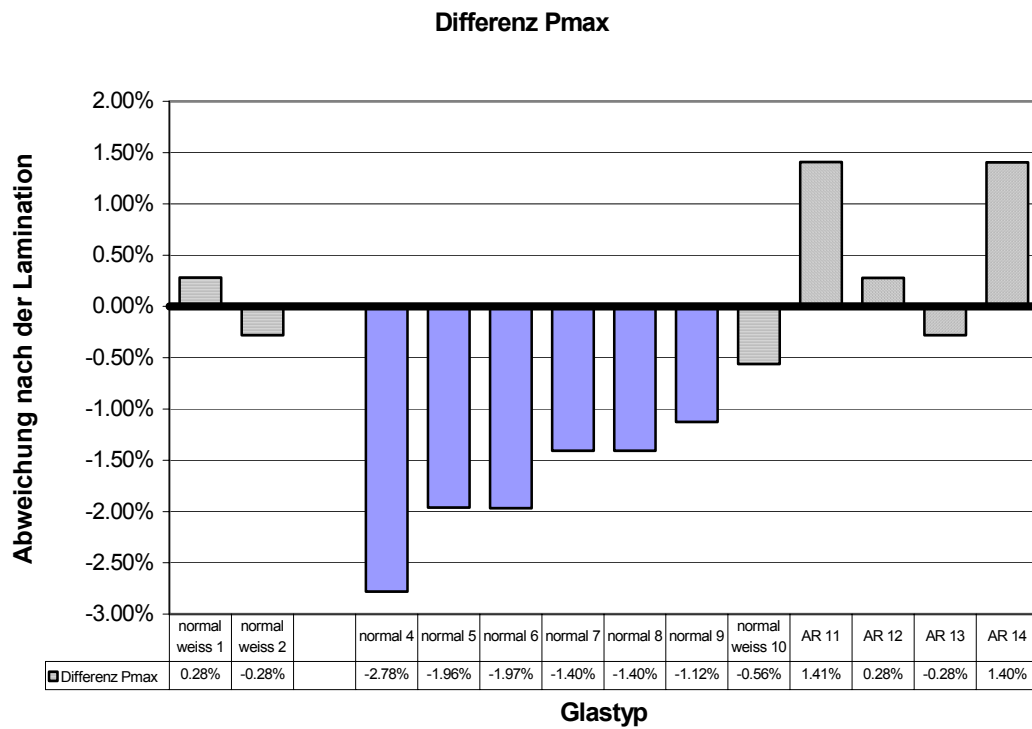


Abbildung 2: relative Differenz der Leistung zwischen dem Zellennetz und dem laminierten Testmodul

Module mit einem normalen Solarglas zeigen eine deutliche Reduktion der Leistung nach der Lamination, wobei diejenigen Module mit der anthrazitfarbigen Rückwandfolie nochmals deutlich schlechter abschneiden. Hingegen ist nach der Lamination mit dem AR-Glas die Leistung sogar eher besser.

3.2 Nachträgliches Ätzen der Oberfläche

Diese Testmodule wurden ohne Anschlussdose gefertigt, und die Leistung direkt an Anschlussverbindern gemessen, da für die nachträgliche Ätzung diese Anschlüsse nochmals abgedeckt werden müssen. Diese Module müssen eine Säurebehandlung überstehen können. Die Module Nr. 1,2,4 und 5 wurden nochmals nach Dänemark zum Hersteller „Sunarc“ geschickt, welcher die nachträgliche Oberflächenätzung durchführte. Anschliessend wurde wiederum die Leistung mittels einer Flashmessung gemessen.

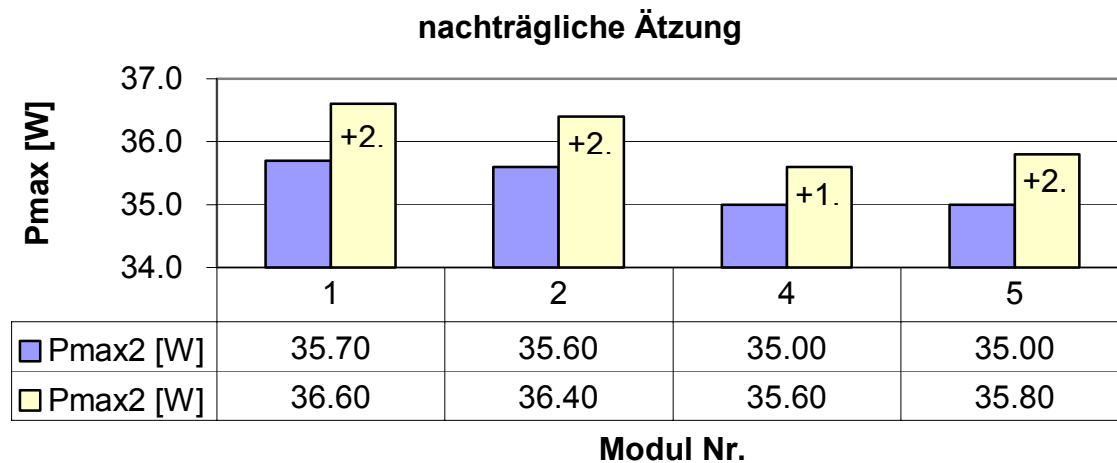


Abbildung 3: Differenz der Leistung bei nachträglicher Ätzung des Frontglases
 blau = vor der Ätzung, gelb = nach der Ätzung

Die vier Testmodule mit nachträglicher Ätzung des Frontglases zeigen bei der Flashmessung eine Leistungssteigerung von durchschnittlich 2.2%.

3.3 Freiluftmessung (Leistung)

Mittels eines Freilufttests beim TISO wurde der Einfluss einer Bewitterung auf die Entwicklung der Leistung untersucht.

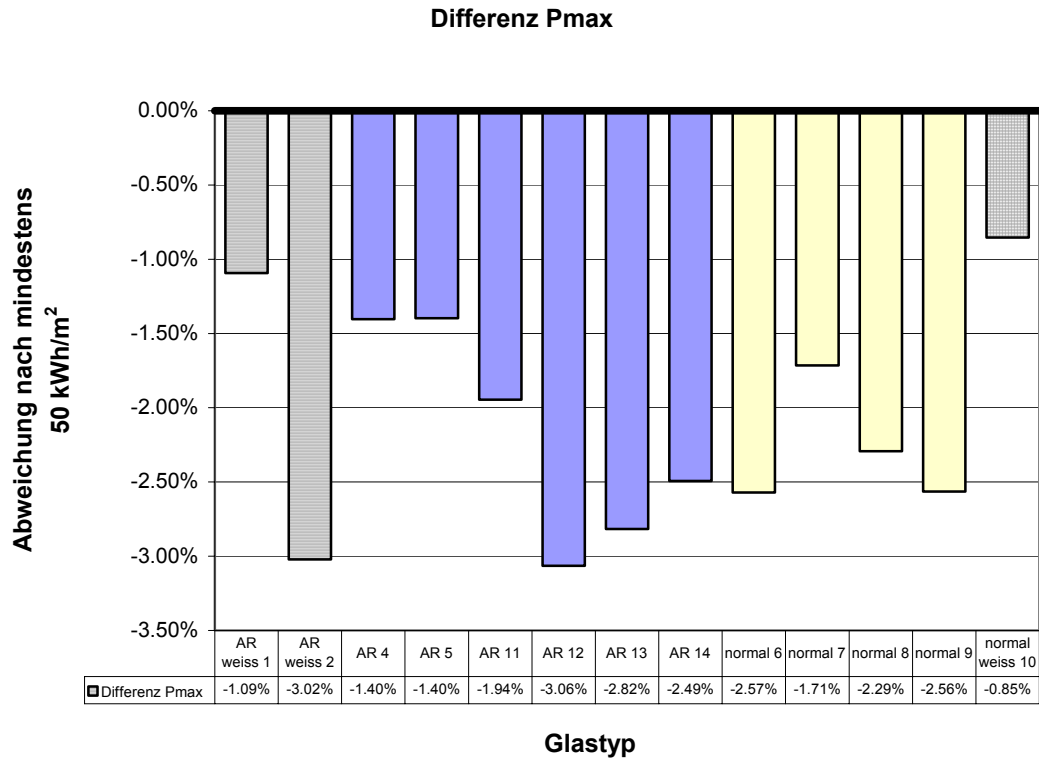


Abbildung 4 relative Leistungsabnahme nach mindestens 50kWh/m² Exposition im Freiland

Die Abminderung nach den ersten Betriebsstunden ist bei allen Modultypen im Bereich von 1% bis 3%. Das Glas hat keinen Einfluss auf diesen Effekt.

Zusätzlich zur absoluten Leistungsmessung wurde das Verhalten der Module mit Freiluftmessungen bei verschiedenen Einstrahlungswinkeln untersucht.

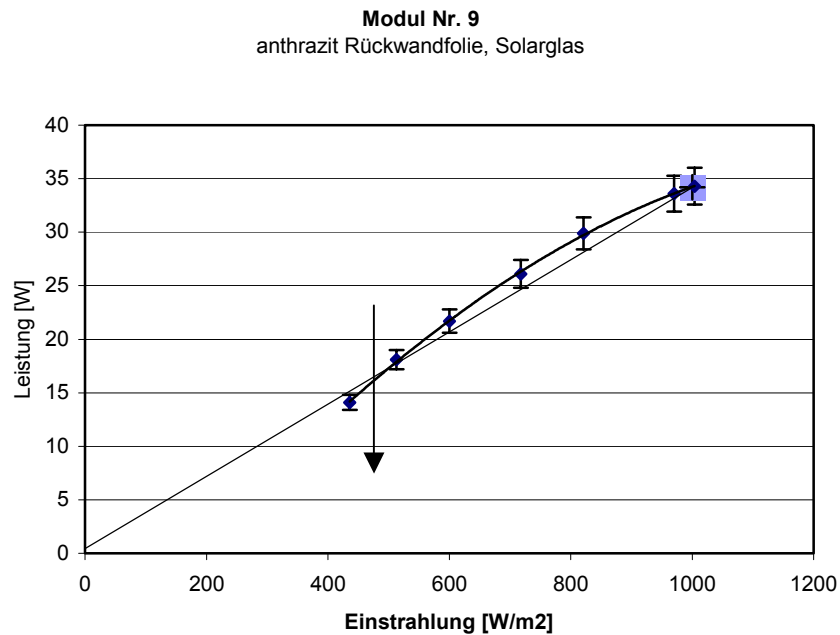


Abbildung 5 Messung der Leistung im Freiland bei verschiedenen Einstrahlungswinkeln, normales Glas

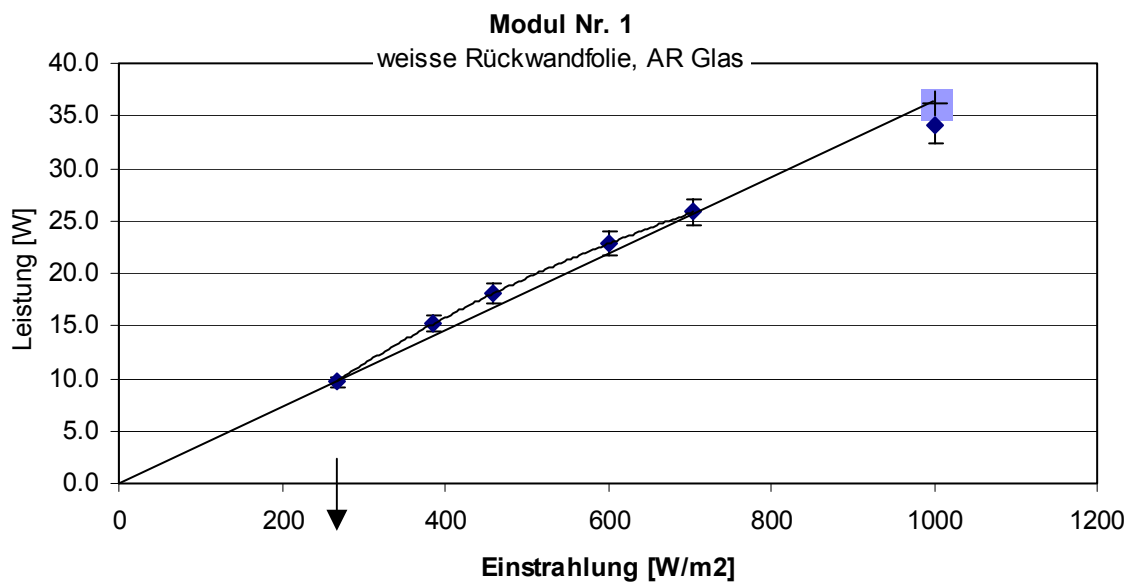


Abbildung 6 Messung der Leistung im Freiland bei verschiedenen Einstrahlungswinkeln, AR Glas

Je weniger Einstrahlung desto kleiner der Einstrahlungswinkel. Als Referenz wurden Flash Messungen mit definierter Leistung gemacht.

Als Vergleichspunkt wird derjenige Wert genommen, bei dem die interpolierte Freiluftkurve die Indoor-Gerade schneidet. Bei den Modulen mit normalen Solarglas ist dieser Wert zwischen 500 und 600 W/m². Bei den Modulen mit AR-Glas hingegen im Bereich von 300 bis 500 W/m².

3.4 Freiluftmessungen (Ertrag)

Nach Abschluss der Freiluft-Leistungs wurden zur Bestätigung der Resultate auch Freiluft-Ertragsmessungen durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden 4 Module mit schwarzer Rückwandfolie und möglichst gleicher Leistung der Netze (Nr. 07, 08, 12, 14) ausgewählt. Diese wurden vor dem Freilufttest flashvermessen, und auch nachträglich. Abbildung 6 zeigt eine Gegenüberstellung der Resultate. Der Leistungsabfall des Modules 08 von 1.2% liegt ausserhalb der Wiederholgenauigkeit der Messung. Eine Ursache für diesen Leistungsabfall dafür wurde nicht gefunden.

SN	P1m	P2m		I1sc	I2sc		V1oc	V2oc	
3S-07	34.6	34.4	-0.6%	4.86	4.87	0.21%	9.85	9.89	0.40%
3S-08	34.8	34.4	-1.2%	4.85	4.84	-0.21%	9.9	9.86	-0.41%
3S-12	35.2	35.2	0.0%	4.92	4.97	1.01%	9.9	9.86	-0.41%
3S-14	35.4	35.6	+0.6%	4.97	5.02	1.00%	9.88	9.89	0.10%

Abbildung 7 Vergleich Leistung vor und nach Freiluft Ertragsmessung

Abbildung 8 zeigt die Resultate vor und nach den Freiluft-Ertragsmessungen, sowie das Verhältnis der Leistungen von Modulen mit geätzten und ungeätzten Scheiben vor und nach dem Test. Man erkennt keinen wirklich signifikanten Unterschied zwischen dem Gewinn bei Energie und bei Leistung. Tendenziell ist der Gewinn an Leistung höher. Bei der Energie ist ein Gewinn von im Schnitt 2 % auszumachen, bei der Leistung von 1.73% vor und 2.91% nach der Bewitterung. Letzteres Resultat ist bedingt durch den recht starken Leistungsverlust des Moduls 08 nach der Bewitterung.

SN	Netz	Energie	Messung 060522		Messung 061003		PRdc tot	Mehrertrag Energie		Mehrleistung
	Pmax1 [Wp]	[Wh]	Pmax3 [Wp]	Spez. Energie [Wh/Wp]	Pmax4 [Wp]	Spez. Energie [Wh/Wp]	[%]	%	Klasse	vor und nach Test %
Ohne AR										
07	35.60	18'519	34.60	535	34.4	538	90.7			
08	35.60	18'533	34.80	533	34.4	539	90.8			vorher:
	35.6	18'526	Ø Energie		34.4	Ø Leistung		2.01%	Ø/Ø	1.73%
Mit AR								2.23%	Best AR/Øohne AR	nachher:
12	35.80	18'859	35.40	533	35.6	530	89.3			2.91%
14	35.60	18'939	35.20	538	35.2	538	90.7			
	35.7	18'899	Ø Energie		35.4	Ø Leistung				

3.5 Diskussion der Resultate

Der Vergleich der Leistung von Solarmodulen mit geätzten Antireflexgläsern und mit normalem Solarglas zeigt einen Einfluss der Oberfläche.

In der ersten Testreihe, bei der die Leistung der Zellennetze mit den laminierten Modulen verglichen wird, kann ein Unterschied von 2% zugunsten der AR-Gläser gemessen werden.

Die nachträgliche Ätzung der Frontseite der Module zeigt ebenfalls eine positive Differenz von mindestens 2%, welche das erste Resultat bestätigt.

Bei der Leistungsabnahme nach einigen Betriebstagen (gemessen nach 50kWh/m²) zeigt sich kein Unterschied zwischen Modulen mit geätztem Glas und solchen mit normalem Glas.

Bei den Freiluftmessungen bei verschiedenen Einstrahlungswinkeln zeigt sich, dass AR-Module den Grenzbereich mit flachen Einstrahlungswinkeln noch etwas besser ausnützen können. Diese Tendenz kann aufgrund der relativ kleinen Anzahl durchgeführter Messungen und der kleinen Differenz nicht schlüssig quantifiziert werden.

Die Freiluftertragsmessungen bestätigen im Wesentlichen das Resultat der Leistungsmessungen, es resultiert auch hier ein Gewinn von ca. 2% gegenüber Modulen ohne AR-Glas.

4 Nationale / internationale Zusammenarbeit

Lieferant für die antireflexgeätzten Gläser war die Firma Sunarc Technology A/S aus Dänemark. Zuvorkommende Behandlung sowie das Interesse an den Resultaten zeichneten diese Zusammenarbeit aus. Auch für die nachträgliche Behandlung der bereits laminierten Module ist eine Lösung entwickelt worden.

Die Messungen an den Netzen und an den Modulen wurden in Zusammenarbeit mit der SUPSI (Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana) bzw. TISO ausgeführt.

5 Schlussfolgerung / Perspektiven

Der Leistungs- und Ertragsgewinn von mehr als 3% durch den Einsatz von antireflexgeätztem Glas kann mit den durchgeführten Testen nicht ganz bestätigt werden. Hingegen ist eine deutliche Verbesserung von mindestens 2% erkennbar. Für präzisere Aussagen wären deutlich mehr Versuchsmuster notwendig.

Die Leistungs- und Ertragssteigerung spricht für den Einsatz dieser Gläser. So kann mit relativ wenig Zusatzaufwand ein merklicher Effekt (bzw. Mehrertrag) erreicht werden. Ob der Einsatz schlussendlich wirtschaftlich sinnvoll ist hängt aber davon ab, wie hoch die Kosten der Anbringung der Antireflexschicht sind. Bei kleinen Stückzahlen wird dies nicht wirtschaftlich sein, weil der Aufwand zu hoch ist, z.B. bei der Gebäudeintegration. Hier kann, falls wünschenswert, als Vorteil die geringere Spiegelung angeführt werden. In der Zwischenzeit gibt es aber mindestens ein Standardmodulhersteller, der diesen Typ AR-Glas bei seiner Produktion einsetzt, was einen Hinweis darauf liefert, dass es sich bei grossen Stückzahlen lohnt.

Diese Resultate haben uns anfangs 2004 dazu bewogen, AR-geätzte Gläser bei einem Projekt in Zürich (52 kWp) und in Graubünden (54 kWp) einzusetzen. Die Erfahrungswerte sprechen sehr für den positiven Effekt der antireflexgeätzten Oberfläche. Die erwähnten Anlage ist 2004 resp. 2005 in Betrieb und liefern seither sehr gute Ertragswerte, welche deutlich über dem prognostiziertem Ertrag liegen.

6 Referenzen / Publikationen

- [1] Higher efficiency from PV-modules using antireflective glass, sunarc Technology A/S, Danmark
- [2] Increase transmittance on glass for PV-cells by using antireflective, sunarc Technology A/S, Danmark