

**Unterschiede im Jahresertrag bei PV Modulen**  
**im Einspeisebetrieb zwischen Ausrichtung**  
**nach Süden bzw. nach Westen.**

Autor: Eberhard Zentgraf  
Dipl. Ing. (FH)

An Planung, Aufbau, Durchführung und Auswertung  
beteiligtes, wissenschaftliches Team:

E. Zentgraf  
S. Hock  
A. Zentgraf  
M. Moore

## **Inhaltsverzeichnis**

	Seite
1. Anlass der Untersuchungen	3
2. Aufbau der Messungen	4
3. Durchführung der Messungen	6
4. Messergebnisse	7
4.1. Auswertungen auf Basis der Globalstrahlungsmessungen	7
4.2. Auswertungen im Vergleich mit anderen kristallinen und a-Si Dünnschicht Modulen	10
5. Fehlerbetrachtung	14
6. Equipment	14

## **1. Anlass der Untersuchungen**

Im September 2008 veröffentlichten wir die Ergebnisse einer Untersuchung, in welcher wir die Jahres-Energieerträge von PV-Kleinstmodulen (als herunterskaliertes Experiment) in verschiedenen Ausrichtungen und Neigungen untersuchten. (Siehe auch „Höhe des Energieertrages von PV Modulen unter verschiedenen Neigungswinkeln und Ausrichtungen“ auf dieser Homepage) Unsere damalige Veröffentlichung stieß auf ein überraschend großes Interesse. In zahlreichen E-Mails, Telefonaten und persönlichen Gesprächen wurden wir gebeten, diese damalige Messung mit großen Serienmodulen im Netz-Einspeisebetrieb zu untermauern.

Alle Neigungen und Ausrichtungen der Messreihen von 2008 konnten wir nicht mit den großen Serienmodulen nachstellen, dazu reichte der Platz in unserem Testbereich nicht.

Aber exemplarisch wollten wir – in einer über zwei Jahre gehenden Messreihe - den Unterschied zwischen einer Südausrichtung (Neigung 28°) und einer Westausrichtung (Neigung 28°) ermitteln. (Wie gesagt, mit großen Serienmodulen und in Netz-Einspeisebetrieb)

Wir wählten dazu, als Vertreter der kristallinen Module, 2 Stück „SCHOTTSolar poly 165“, sowie als Vertreter der Dünnschicht Module 3 Stück „Solartechnics SN-GS-40D“ (a-Si) aus.

Alle Module wurden 1 Jahr lang in Südausrichtung und anschließend 1 Jahr lang in Westausrichtung, jeweils unter einer Neigung von 28° betrieben.

Als Referenz-Messgerät diente zum einen ein hochwertiger Globalstrahlungsmesser (Pyranometer) vom Typ CMP3 des Herstellers Kipp & Zonen. Solche Geräte werden u. a. auch vom Deutschen Wetterdienst benutzt. Zum anderen wurden auch kristalline und a-Si Dünnschicht Module zum Vergleich herangezogen. Der kristalline Vergleichstyp war das Modul ANTARIS ASM 175, als a-Si Dünnschicht Vergleichstyp wählten wir das Modul Kaneka Z-EA D075 aus.

Jeweils 2 Stück ANTARIS ASM 175 und 2 Stück Kaneka Z-EAD075 wurden während des gesamten Messzeitraums, vom 01. April 2009 bis 31. März 2011, unter einem Neigungswinkel von 28° nach Süden ausgerichtet.

Nach Ablauf jeweils eines Jahres wurden ihre Erträge mit den Erträgen der Probanden (SCHOTTSolar poly 165 und Solartechnics SN-GS-40D) verglichen.

## 2. Aufbau der Messungen

Abb. 1 zeigt das verwendete Pyranometer



*Abb. 1: Pyranometer CMP3, Kipp & Zonen*

In Abb. 2 sind die nach Westen ausgerichteten 3 Stück Solartechnics Module zu erkennen (Vordergrund). Im Hintergrund rechts befinden sich nach Süden ausgerichtete Module.



*Abb.2: Solartechnics Module, nach Westen ausgerichtet*

Auch bei flachen Sonnenständen durften sich die Module nicht gegenseitig verschatten (siehe Abb. 3)



*Abb. 3: Auch bei flachen Sonnenständen erfolgt keine Verschattung*

Eines der beiden nach Westen ausgerichteten SCHOTT Module ist im Vordergrund von Abb. 4 zu sehen. Im Hintergrund rechts sind die drei Solartechnics Module. Ganz hinten rechts sind nach Süden ausgerichtete Module zu erkennen.



*Abb. 4: Eines der beiden SCHOTT Module in West-Ausrichtung*



*Abb. 5: Die beiden nach Westen ausgerichteten SCHOTT Module von hinten gesehen*

### **3. Durchführung der Messungen**

Eine wichtige Voraussetzung zur exakten Durchführung der Messungen ist die Tatsache, dass die Module nur dann das Optimum ihrer Leistung erbringen können, wenn der MPP-Bereich (Maximum Power Point) vom Modulstrang und Wechselrichter übereinstimmen. Darauf wurde von uns geachtet. Die jeweiligen Modultypen wurden zu Strängen zwischen zwei bis drei Modulen (abhängig von der MPP Spannung der einzelnen Module) verschaltet. Über jeweils einen Wechselrichter vom Typ Mastervolt Soladin 600 und über einen zugehörigen ENS (Elektronischer Netzfreeschalter) erfolgte die Einspeisung ins Stromnetz. Der Eingangs-Gleichstrom und die Eingangs-Gleichspannung eines jeden Wechselrichters wurden über kalibrierte Multimeter erfasst und mit Hilfe eines Messrechners zusammen mit den Messdaten des Globalstrahlungsmessers gespeichert. Der Zeitfaktor betrug eine Minute. Aus diesen Daten konnten anschließend die Erträge der untersuchten Module berechnet werden.

#### 4. Messergebnisse:

Bei Ermittlung und Auswertung der Messergebnisse muss Folgendes berücksichtigt werden:

- Die Höhe der Globalstrahlung wird in kWh/m<sup>2</sup> angegeben
- Die Angabe der Höhe der Energieerträge der PV Module erfolgt in kWh.
- Um die MPP-Anpassung zwischen jeweiligem Wechselrichter und PV Modulstrang zu erreichen, mussten die PV Module nach folgendem Schema in Reihe geschaltet werden:
  - o SCHOTTSolar poly 165, 2 Stück in Reihe, Gesamt-Nennleistung 330 Wp
  - o Solartechnics SN-GS-40, 3 Stück in Reihe, Gesamt-Nennleistung 120 Wp
  - o ANTARIS ASM 175, 2 Stück in Reihe, Gesamt-Nennleistung 350 Wp
  - o Kaneka Z-EA D075, 2 Stück in Reihe, Gesamt Nennleistung 150Wp

Tabelle 1 zeigt die Datenblatt-Werte (Nennwerte), der verwendeten PV Module

PV Modul	Nennleistung [Wp]	Nennspannung [V]	Nennstrom [A]	Art
SCHOTTSolar poly 165	165	35,1	4,7	kristallin
ANTARIS ASM 175	175	35,8	4,91	kristallin
Solartechnics SN-GS-40D	40	47	0,86	a-Si
Kaneka	75	67	1,12	a-Si

Tab. 1: Datenblatt – Werte

#### 4.1. Auswertungen auf Basis der Globalstrahlungsmessungen

Die beiden Diagramme Abb.6 und Abb. 7 zeigen die Monatswerte der Globalstrahlung, sowie die Monatswerte der Erträge der SCHOTTSolar und Solartechnics Module in Südausrichtung (Zeitraum April 2009 bis März 2010).

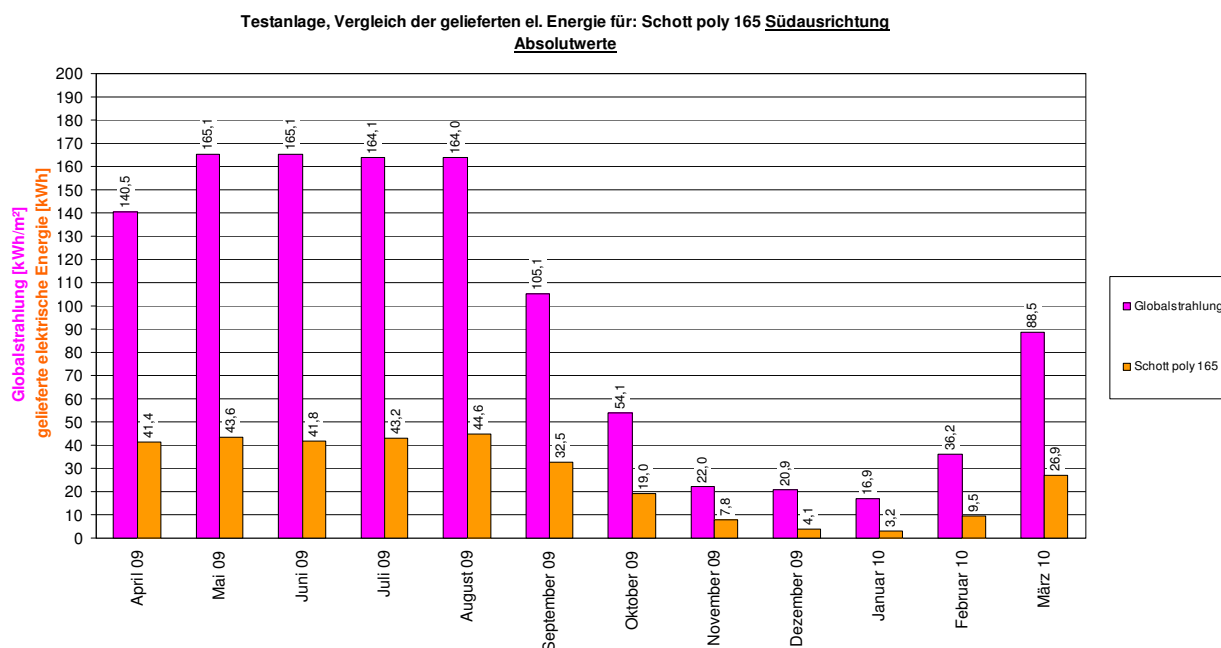


Abb. 6: Globalstrahlung, sowie Monatserträge der SCHOTTSolar Module in Südausrichtung

Testanlage, Vergleich der gelieferten el. Energie für: Solartechnics SN-GS-40D39D Südausrichtung  
 Absolutwerte

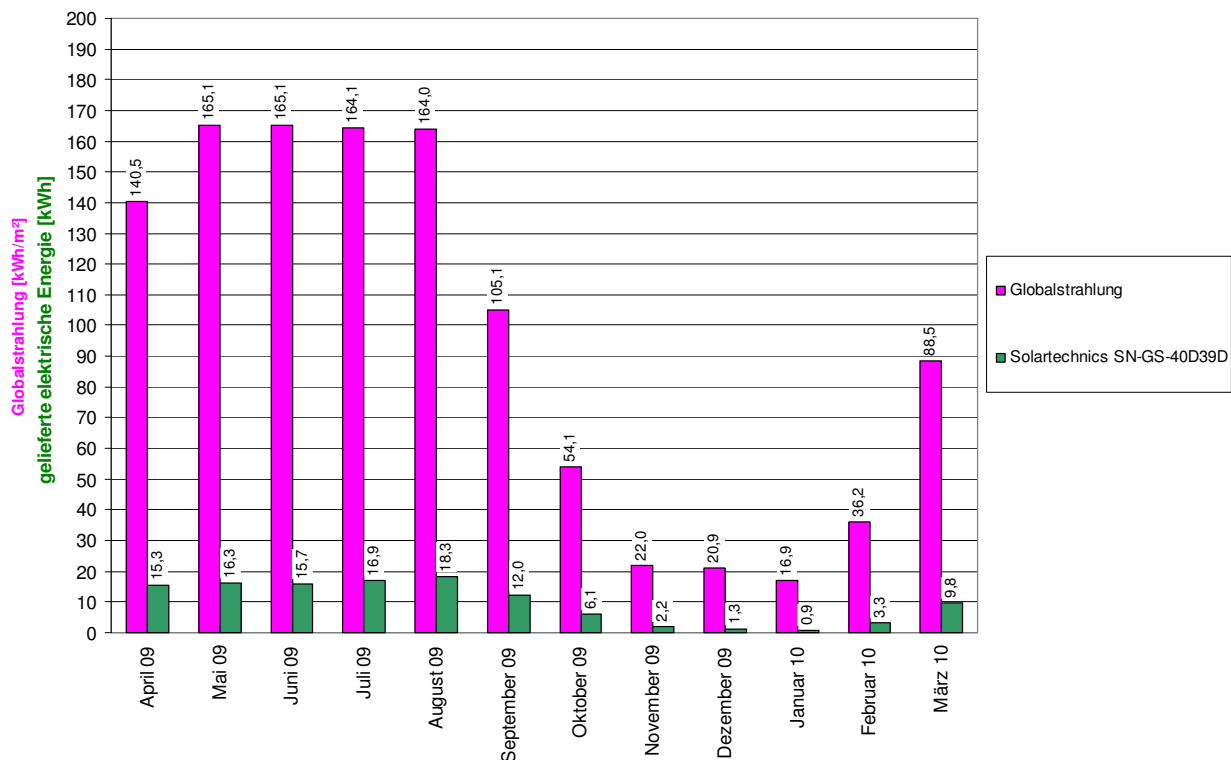


Abb. 7: Globalstrahlung, sowie Monatserträge der Solartechnics Module in Südausrichtung

In den Diagrammen Abb. 8 und Abb. 9 sind die Monatswerte der Globalstrahlung, sowie die Monatswerte der Erträge der SCHOTTSolar und Solartechnics Module in Westausrichtung dargestellt (Zeitraum April 2010 bis März 2011).

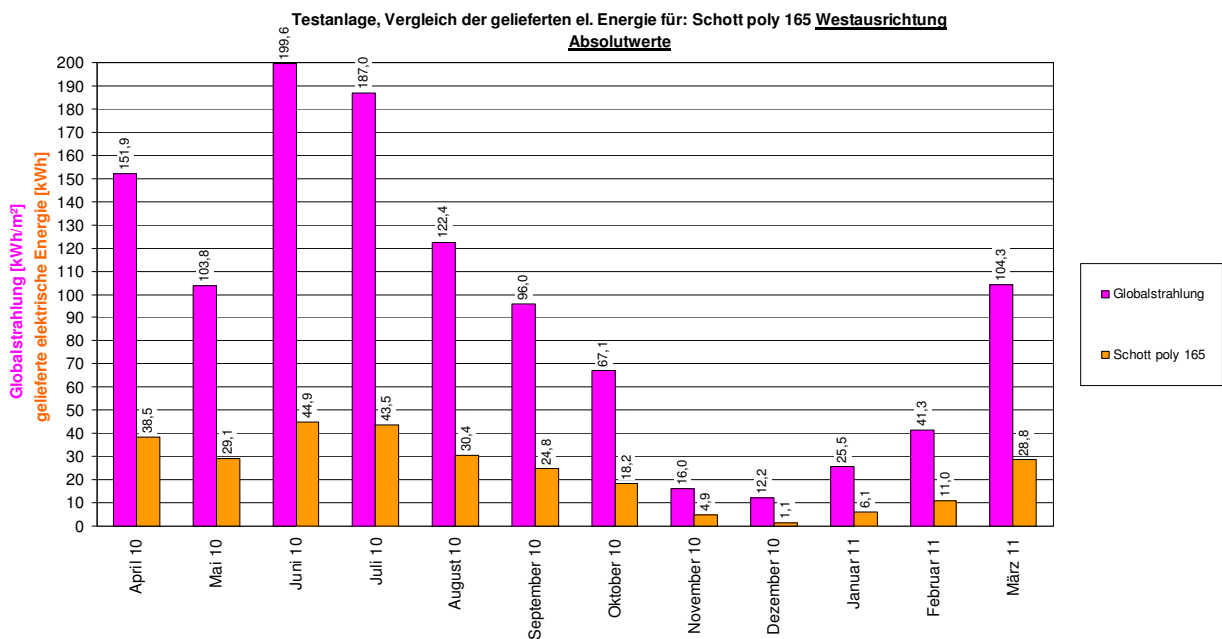


Abb. 8: Globalstrahlung, sowie Monatserträge der SCHOTTSolar Module in Westausrichtung

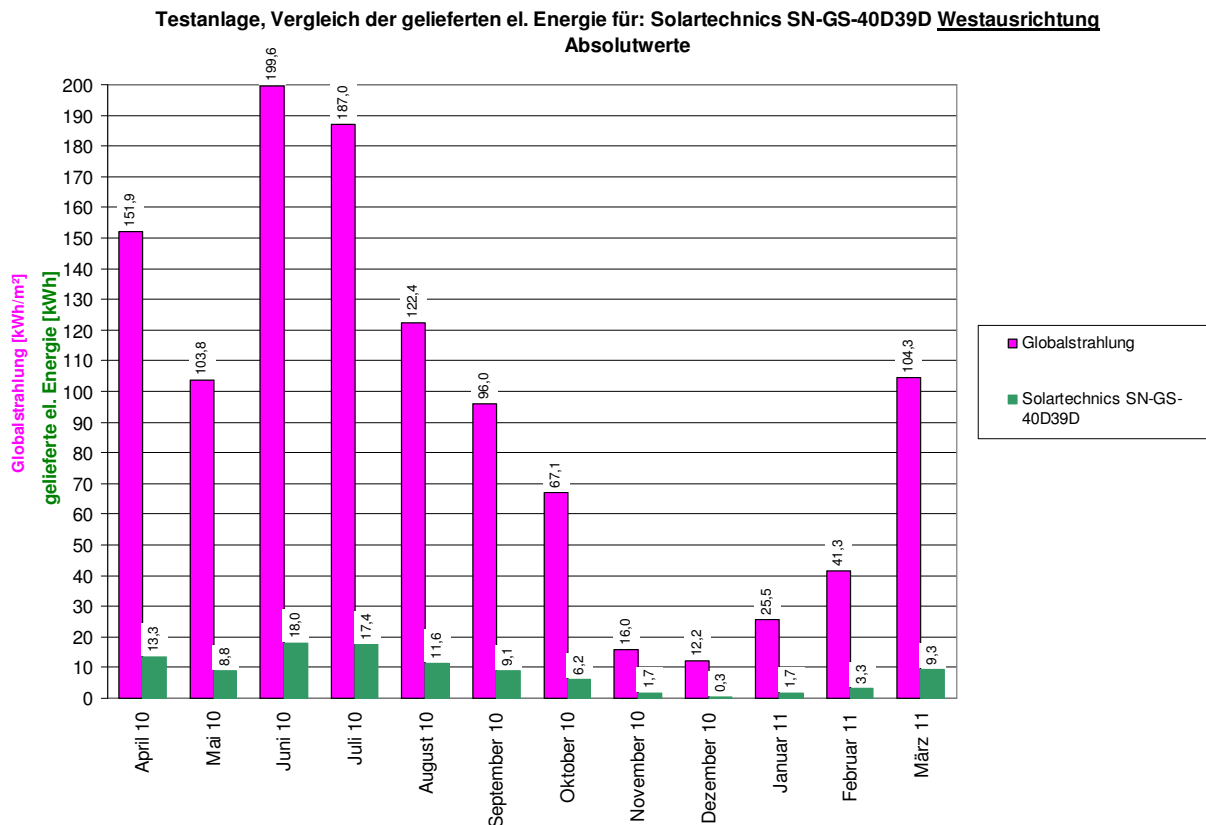


Abb. 9: Globalstrahlung, sowie Monatserträge der Solartechnics Module in Westausrichtung

### Fazit:

Südausrichtung (siehe Abb. 6 und Abb. 7)

Die Jahressumme der Globalstrahlung des Messzeitraumes April 2009 bis März 2010 belief sich auf 1142,5 kWh/m<sup>2</sup>. In diesem Zeitraum erreichten die Erträge der SCHOTTSolar Module 317,6 kWh sowie die Solartechnics Module 117,1 kWh. Daraus ergeben sich folgende Verhältnisse von jeweiligem Modulertrag zur Globalstrahlung:

- SCHOTTSolar poly 165 :  $317,6 / 1142,5 = 0,278$
- Solartechnics SN-GS-40D:  $118,1 / 1142,5 = 0,103$

Westausrichtung (siehe Abb. 8 und Abb, 9)

Analog zur Südausrichtung, hier die Werte der Westausrichtung (Zeitraum April 2010 bis März 2011):

Globalstrahlung, Jahresertrag: 1127,1

Jahresertrag SCHOTTSolar Module: 281,3 kWh

Jahresertrag Solartechnics Module: 100,7 kWh

Verhältnisse von jeweiligem Modulertrag zur Globalstrahlung:

- SCHOTTSolar poly 165:  $281,3/1127,1 = 0,249$
- Solartechnics SN-GS-40D:  $100,7 / 1127,1 = 0,089$

Ergebnisse der Ertragsunterschiede zwischen Süd- und Westausrichtung, mit der Globalstrahlung als Bezugsgröße:

- für kristallin (SCHOTTSolar poly 165):  $0,249 / 0,278 = 0,896$  entspricht 89,6 %
- für a-Si Dünnschicht (Solartechnics SN-GS-40D)  $0,089 / 0,103 = 0,864$  entspricht 86,4 %

## Resultat:

Verglichen mit der jeweiligen Globalstrahlung erbrachten die kristallinen Module in Westausrichtung noch 89,6 %, die a-Si Dünnschicht Module noch 86,4 % des Ertrages (Neigung jeweils 28°), bezogen auf die optimale Ausrichtung nach Süden.

## 4.2. Auswertungen im Vergleich mit anderen kristallinen und a-Si Dünnschicht Modulen

### Bauartbedingter Umrechnungsfaktor:

Wie aus Tabelle 1 zu ersehen ist, differieren die Nennleistungen sowohl der beiden kristallinen (SCHOTTSolar, ANTARIS), als auch der beiden a-Si Dünnschicht Modultypen (Solartechnics, Kaneka) untereinander. Um für die Auswertungen jedoch einen zuverlässigen Bezug zu erhalten, wurde ein sog. bauartbedingter Umrechnungsfaktor ermittelt.

Dazu wurden zunächst alle 4 Modultypen ein Jahr lang (April 2009 bis März 2010) in Südausrichtung betrieben. Danach konnten die bauartbedingten Umrechnungsfaktoren ermittelt werden.

Abb. 10 zeigt die Monatserträge der SCHOTTSolar und der ANTARIS Module in Südausrichtung (Zeitraum: April 2009 – März 2010).

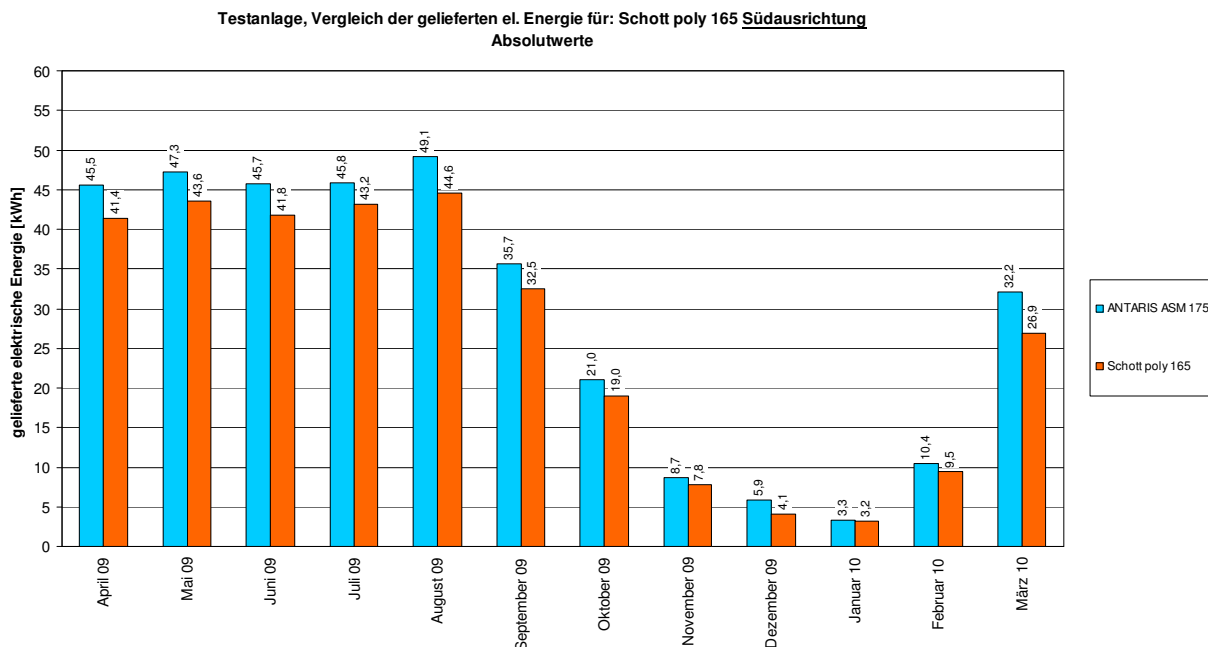


Abb. 10: Monatserträge ANTARIS und SCHOTTSolar Module, Zeitraum April 2009 – März 2010, Südausrichtung

### Jahreserträge:

- ANTARIS ASM 175: 350,6 kWh
- SCHOTTSolar poly 165: 317,6 kWh

Damit die SCHOTTSolar Module auf den gleichen Energieertrag wie die ANTARIS Module kommen könnten, müssten sie mit dem Faktor  $350,6 / 317,6 = 1,104$  multipliziert werden (baubedingter Umrechnungsfaktor)

Ähnliches gilt für die a-Si Dünnschicht Module (Solartechnics, Kaneka):

Abb. 11 zeigt die Monatserträge der Solartechnics und der Kaneka Module in Südausrichtung (Zeitraum: April 2009 – März 2010)

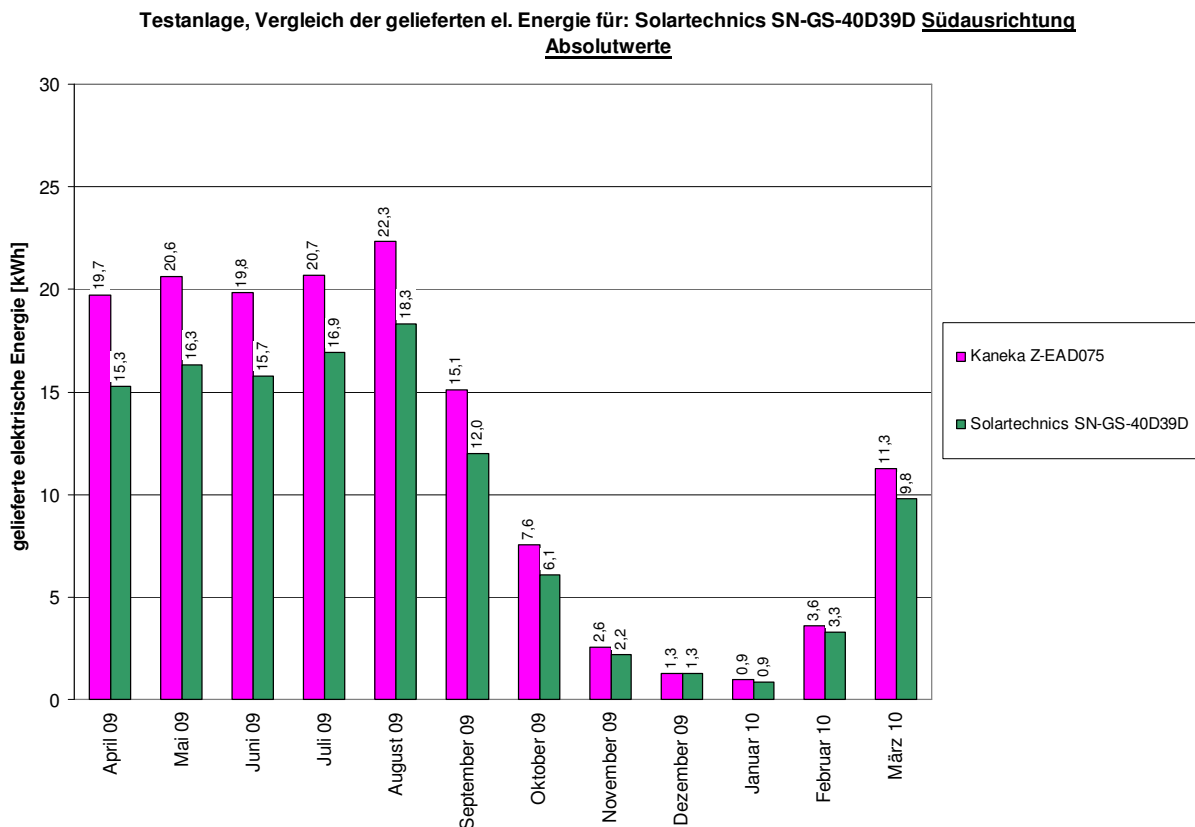


Abb. 11: Monatserträge Kaneka und Solartechnics Module April 2009 – März 2010, Südausrichtung

### Jahreserträge:

- Kaneka Z-EAD075: 145,5 kWh
- Solartechnics SN-GS-40D: 118,1 kWh

Bauartbedingter Umrechnungsfaktor:  $145,5 / 118,1 = 1,232$

Nachdem die bauartbedingten Umrechnungsfaktoren ermittelt waren, konnten sowohl die kristallinen, als auch die a-Si Dünnschicht Module, in Bezug der Ertragsunterschiede zwischen Süd- und Westausrichtung, verglichen werden.

Das Diagramm in Abb. 12 stellt die Monatserträge im Zeitraum April 2010 bis März 2011, der ANTARIS Module (Südausrichtung) und SCHOTTSolar Module (Westausrichtung) dar.

Testanlage, Vergleich der gelieferten el. Energie (**Absolutwerte**) für:  
 Schott poly 165 Westausrichtung, ANTARIS ASM 175 Südausrichtung

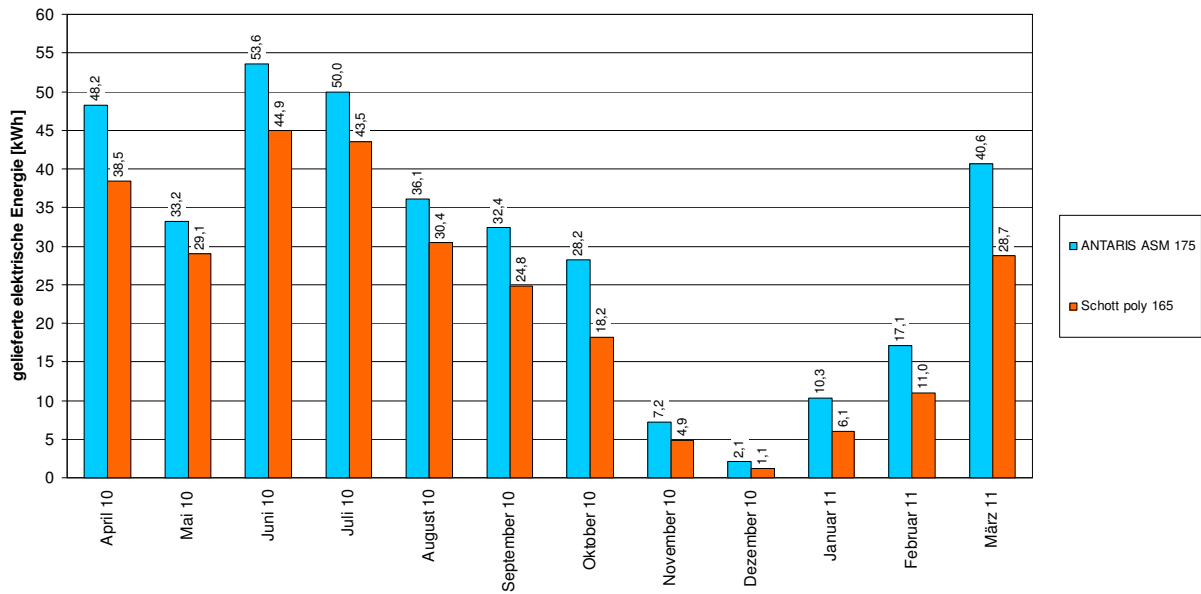


Abb. 12: Monatserträge ANTARIS und SCHOTT Solar Module, Zeitraum April 2010 bis März 2011, Westausrichtung

In Abb. 13 sind die Monatserträge der Kaneka und Solartechnics Module zu sehen, vom April 2010 bis März 2011, in Westausrichtung.

Testanlage, Vergleich der gelieferten el. Energie (**Absolutwerte**) für:  
 Solartechnics SN-GS-40D39D Westausrichtung, Kaneka Z-EAD075 Südausrichtung

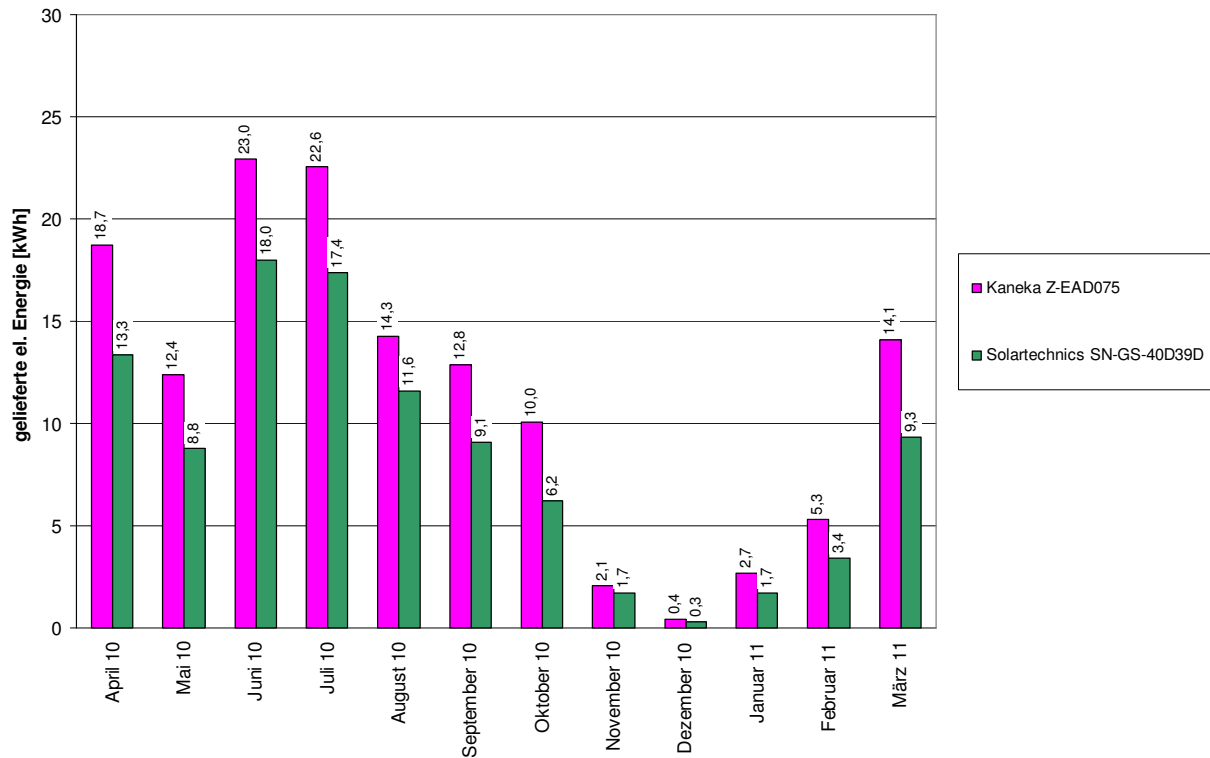


Abb. 13: Monatserträge Kaneka und Solartechnics Module, Zeitraum April 2010 bis März 2011, Westausrichtung.

**Fazit:**  
**Kristalline Module**

**Jahreserträge:**

- ANTARIS ASM 175: 359,0 kWh
- SCHOTTSolar poly 165: 281,5kWh
- SCHOTTSolar poly 165 mit bauartbedingten Umrechnungsfaktor:
  - o 281,2 kWh x 1,104 = 310,4 kWh

**Ergebnis:**

$310,4 \text{ kWh} / 359,0 \text{ kWh} = 0,865 = 86,5 \%$

In Westausrichtung ergeben sich im direkten Vergleich der kristallinen Module noch 86,5 % des Ertrages, verglichen mit einer optimalen Südausrichtung (jeweils bei 28° Neigung).

a-Si Dünnschicht Module:

**Jahreserträge:**

- Kaneka Z-EAD075: 138,4 kWh
- Solartechnics SN-GS-40D: 100,8 kWh
- Solartechnics SN-GS-40D mit bauartbedingtem Umrechnungsfaktor:
  - 100,8 kWh x 1,232 = 124,19 kWh

**Ergebnis:**

$124,19 \text{ kWh} / 138,4 \text{ kWh} = 0,897 = 89,7 \%$

In Westausrichtung ergeben sich im direkten Vergleich der a-Si Dünnschicht Module noch 89,7 % des Ertrages verglichen mit einer optimalen Südausrichtung (jeweils bei 28° Neigung).

Zusammenfassung (siehe Tabelle 2):

Bezug:	Ertrag in West-Ausrichtung kristallin [%]	Ertrag in West-Ausrichtung Dünnschicht [%]
Globalstrahlungsmesser	89,6	86,4
Gleiche Modulart (kristallin bzw. a-Si) in Südausrichtung	86,5	89,7

*Tab. 2: Prozentuale Unterschiede*

**Abschließendes Fazit:**

Wie aus Tabelle 2 zu ersehen ist, liegt der Ertrag sowohl von kristallinen als auch von a-Si Dünnschicht Modulen in Westausrichtung zwischen ca. 86% bis ca. 90% (hier bei einem Neigungswinkel von jeweils 28°), verglichen mit einer optimalen Südausrichtung. Dies stimmt auch mit Tabellenwerten recht gut überein. Auf mögliche Ursachen der gemessenen prozentualen Abweichungen, welche auftraten, als zu einem der Globalstrahlungsmesser, und zum anderen nach Süden ausgerichtete kristalline, bzw. a-Si Dünnschicht Module als Bezug verwendet wurden, wird in der folgenden Fehlerbetrachtung (siehe Punkt 5) eingegangen.

## 5. Fehlerbetrachtung

Die prozentualen Unterschiede der Ergebnisse in Tabelle 2 haben verschiedene Ursachen. An dieser Stelle möchten wir einige auflisten:

- Der verwendete Globalstrahlungsmesser misst zwar die Globalstrahlung mit sehr hoher Präzision. Zweifellos ist die Globalstrahlung das Hauptkriterium für den Ertrag, kann aber keine Auskünfte geben über:
  - o Windstärke
  - o Lufttemperatur
  - o Modultemperatur
  - o Modulverunreinigen

Diese Punkte beeinflussen jedoch unmittelbar Leistung und Ertrag.

- Bei Verwendung von kristallinen oder a-Si Dünnschicht Modulen als Bezugsgröße spielt die Degradation innerhalb des Messzeitraumes (immerhin zwei Jahre) eine, wenn auch geringe, Rolle.

Wir hatten darauf geachtet, dass bei Beginn der Messungen die Anfangsdegradationen (besonders der a-Si Module) bereits abgeschlossen war.

Allerdings degradieren (wenn auch nur gering) die Module unterschiedlich stark, auch innerhalb der kristallinen und a-Si Gruppen.

- Dennoch liegen alle Ergebnisse in der zu erwartenden Streuung zwischen ca. 86% und knapp 90%.

## 6. Equipment

<b>Gerät:</b>	<b>Typ:</b>	<b>Hersteller / Lieferant:</b>
Multimeter	Fluke 45	Fluke
Multimeter	Fluke 89 IV	Fluke
Wechselrichter	Soladin 600	Mastervolt
Selbst. Freischaltestelle	ENS 26	UfE
Messrechner	GX 260	Dell
Software	MS Visual Basic 6.0	Microsoft
Software	MS Excel 2003	Microsoft
Pyranometer	CMP 3	Kipp & Zonen
PV Module	ASM 175	ANTARIS Solar
PV Module	Poly 165	SCHOTTSolar
PV Module	Z-EAD 075	Kaneka
PV Module	SN-GS-40D 39D	Solartechnics

Waldaschaff, 12.04.2011

Eberhard Zentgraf  
Dipl.-Ing. (FH) Elektrotechnik