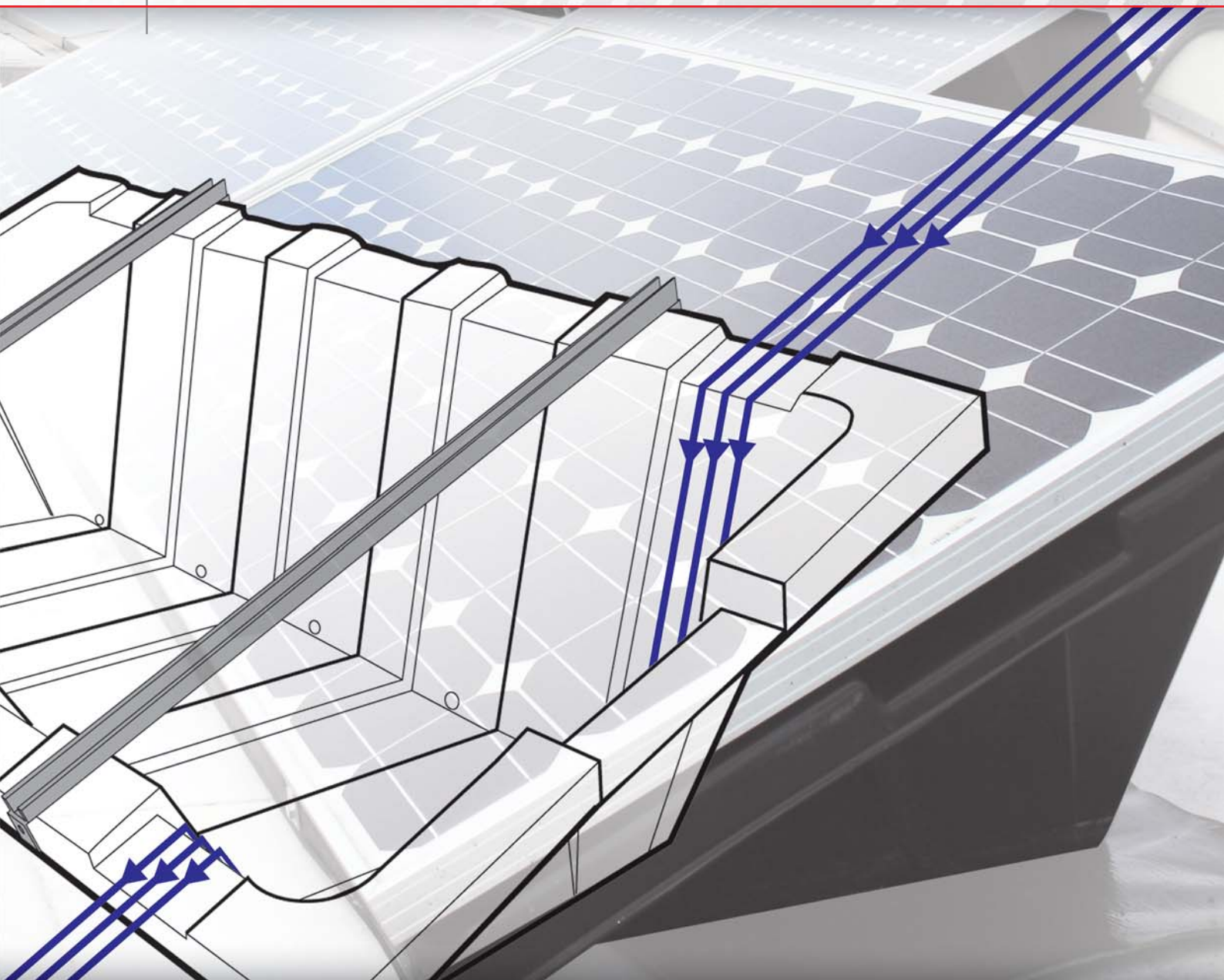




Februar 2010

# REPORT



## Unterschiedliche Hinterlüftung von kristallinen PV-Modulen bei Wannen-Montage, z. B. auf Flachdächern

1. Vorwort
2. Versuchsaufbauten und Messreihen
3. Interpretation der Ergebnisse und Fazit
4. Equipment

## **Inhalt**

<b>1. Vorwort: Anlass der Untersuchungen</b>	<b>S. 3</b>
<b>2. Versuchsaufbauten und Messreihen</b>	<b>S. 3-10</b>
Vorüberlegung	
Vorbereitung	
Durchführung	
<b>3. Interpretation der Ergebnisse und Fazit</b>	<b>S. 11-12</b>
<b>4. Equipment</b>	<b>S. 12</b>



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

TEC-Institut  
für Technische Innovation GmbH & Co. KG  
Am Heerbach 5  
63857 Waldaschaff  
Tel.: +49 (0) 6095 999-666  
info@tec-institut.de

## 1. Vorwort: Anlass der Untersuchungen

In Diskussionen zur Optimierung des Energieertrages von Photovoltaikmodulen ist immer wieder die Hinterlüftung der Module zum Erreichen einer besseren Kühlung und damit zur Erhöhung des Energieertrages ein Thema.

Das TEC-Team hatte sich bereits vor einiger Zeit mit dem Thema Erwärmung und Kühlung von Solarzellen und PV-Modulen befasst – allerdings ausschließlich unter Laborbedingungen. Die neu geplanten Tests wurden unter Realbedingungen auf dem Dach mit handelsüblichen Standard-PV-Modulen im Einspeisebetrieb durchgeführt.

## 2. Versuchsaufbauten und Messreihen

Damit die Messungen eine hohe Aussagekraft besitzen, war es wichtig, dass sowohl Testsystem als auch Referenzsystem unter exakt gleichen Bedingungen betrieben werden. Wir entschieden uns, sowohl für das Referenzsystem, als auch für das Testsystem, den monokristallinen Modultyp ANTARIS ASM 180 zu verwenden. Prinzipiell kann für diese Tests jeder beliebige kristalline Modultyp jedes Herstellers benutzt werden, solange es sich um identische Test- und Referenz-Module handelt. Da wir die verwendeten 4 Stück ANTARIS ASM 180 seit längerem im Rahmen anderer Untersuchungen und Tests kannten, wussten wir, dass diese in ihrem relativen Energieertrag (bezogen auf das kWp) unter gleichen Betriebsbedingungen in sehr engen Toleranzen identisch waren.

Demzufolge bestand sowohl das Referenzsystem, als auch das Testsystem aus jeweils zwei Stück PV-Modulen ANTARIS ASM 180, die jeweils über einen Wechselrichter Mastervolt Soladin 600 in das Stromnetz einspeisten.

Die jeweils zwei Module wurden zu einem Mini-String in Reihe geschaltet. Auf diese Weise war gewährleistet, dass die beiden Wechselrichter in ihrem Mpp-Bereich arbeiteten und so den optimalen Energieertrag aus den Modulen herausholen konnten. Weiterhin wurde bezüglich der beiden Systeme auf folgendes geachtet:

- Gleiche Kabellängen
- Absolute Verschattungsfreiheit
- Kalibrierte Einspeisezähler
- Kalibrierte Gleichstrom u. Gleichspannungs-Messgeräte
- Aus deren Werte der jeweilige Energie-Ertrag der Module berechnet wurde
- Kalibrierte Temperatursensoren
- Befestigt mit optimaler Kontaktfläche
- Mittig auf der Unterseite der beiden Module des Testsystems

Beide Systeme befanden sich auf dem Flachdach unseres Instituts, waren auf dafür zugelassenen Montage-Wannen ConSole der Fa. Ubbink Solar montiert und unter einem Neigungswinkel von 25 Grad exakt nach Süden ausgerichtet (siehe Abb. 1 und Abb. 2). Die Ballastierung der Montage-Wannen wurde mit Grob-Kies nach den Vorgaben des Herstellers vorgenommen.

Die beiden Module des Referenzsystems wurden auf zwei Original-Montagewannen ConSole der Fa. Ubbink Solar (wie in Abb. 1 zu sehen) montiert. In dem Wannenkörper befanden sich keinerlei Lüftungslöcher.



Abb. 1: Montagewannen ConSole der Fa. Ubbink Solar



Abb. 2: Beispiel für Montage auf ConSole, Fa. Ubbink Solar



Abb. 3: Bohren der Lüftungslöcher



Abb. 4: Wanne mit Lüftungslöcher

Baugleiche Montage-Wannen wurden für das Testsystem mit Lüftungslöchern versehen (siehe Abb. 3 und Abb. 4).

Nun galt es, zu überlegen, welcher Jahreszeitraum (in diesem Fall des Jahres 2009), am geeignetsten für die Untersuchungen wären, um mit relativ gleichen Rahmenbedingungen zu arbeiten. Die Monate Oktober, November, Dezember, Januar, Februar und

März kamen schon deshalb nicht in Frage, weil in diesem Zeitraum

- a) der Sonnenstand zu niedrig,
- b) die Temperaturen zu gering und
- c) der Anteil des Jahresenergie-Ertrages dieser 6 Monate zusammen, im langjährigen Mittel nur ca. 30 % sein würde (siehe auch Abb. 5 und 6).

### Zu erwartender Energieertrag im langjährigen Mittel am Beispiel einer 10 kWp-Anlage

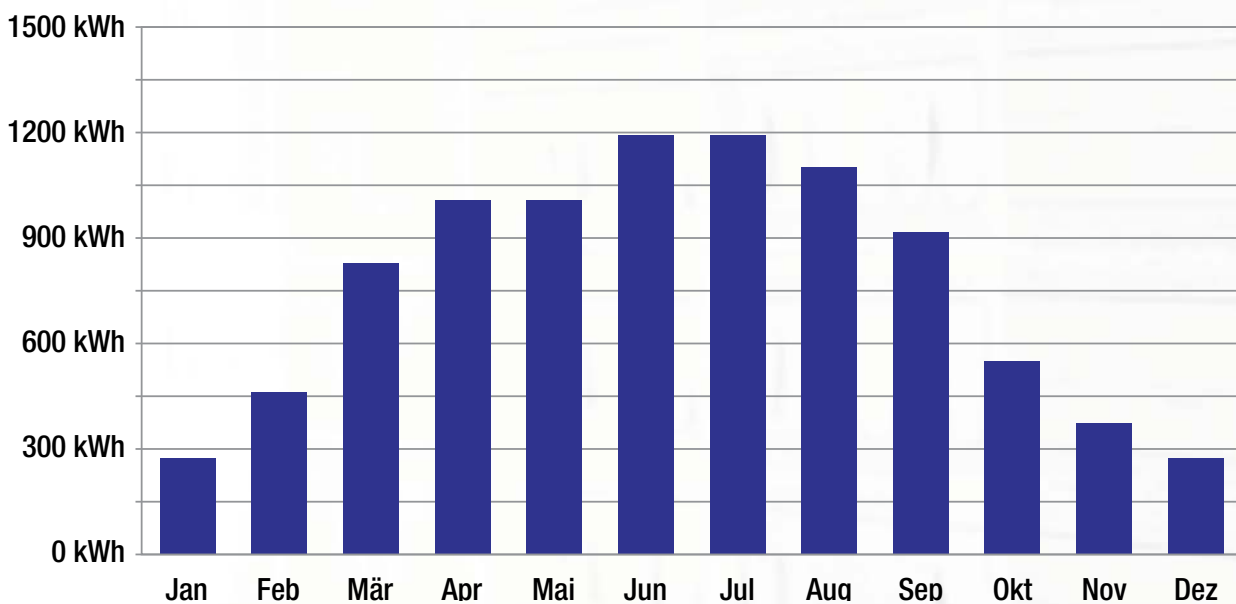


Abb. 5: Zu erwartende monatliche Energie-Erträge (hier: 10 kWp-Anlage)

## Temperatur Monatswerte 2008

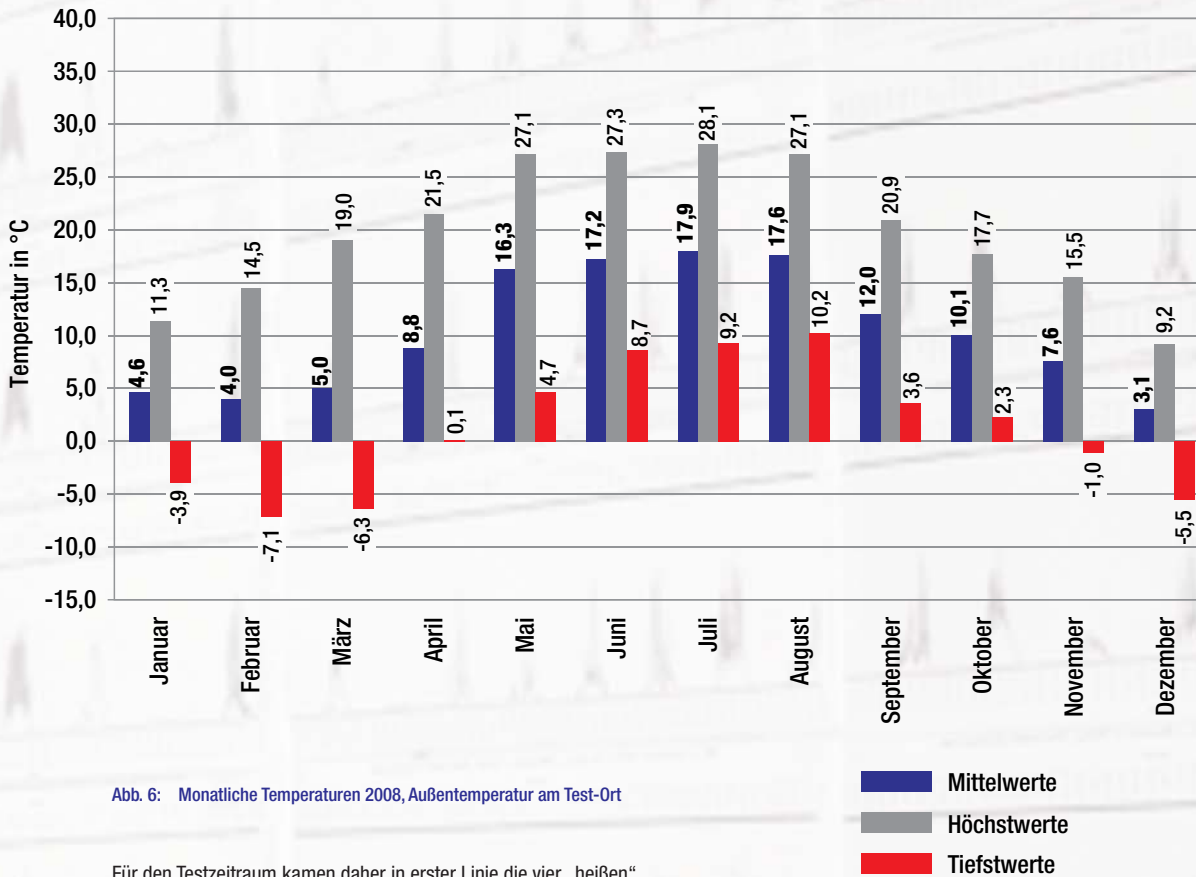


Abb. 6: Monatliche Temperaturen 2008, Außentemperatur am Test-Ort

Für den Testzeitraum kamen daher in erster Linie die vier „heißen“ Sommermonate Mai, Juni, Juli und August, in denen sowohl hohe Temperaturen als auch starke Sonneneinstrahlungen auftreten, in Frage. Überlegenswert war, ob auch die Monate April und September in den Testzeitraum integriert werden sollten.

Wie aus Abb. 6 (hier zwar speziell für 2008, aber im langjährigen Mittel ähnlich) zu ersehen, hat der April im Mittel zwar schon eine recht hohe Sonneneinstrahlung, jedoch noch eine relativ geringe Außentemperatur, die Module, auch ohne Hinterlüftung, entsprechend kühlt.

Im September liegen die Mitteltemperaturen in der Regel zwar noch etwas über den April-Werten, jedoch geht die Sonneneinstrahlung bereits deutlich zurück, schließlich ist im September auch die sog. Tag- und Nacht-Gleiche.

Also legten wir für den Testzeitraum die vier Monate Mai, Juni, Juli und August fest.

Nach Abb. 5 sind diese vier Monate für knapp 50 % des jährlichen Energie-Ertrages verantwortlich.

Mit anderen Worten:

Während ca. 33 % des Jahres (nämlich der o. g. vier Sommermonate) werden nahezu 50 % des jährlichen Energie-Ertrages erwirtschaftet.

In den Monaten Mai, Juni und Juli 2009 waren die Module des Testsystems auf hinterlüfteten Wannen (also Wannen mit Löchern) montiert, siehe auch Abb. 7, während das Referenzsystem auf Standardwannen, ohne Hinterlüftung, befestigt war.



Abb. 7: Testsystem ist auf hinterlüfteten Wannen montiert

### Temperaturerfassung Testsystem

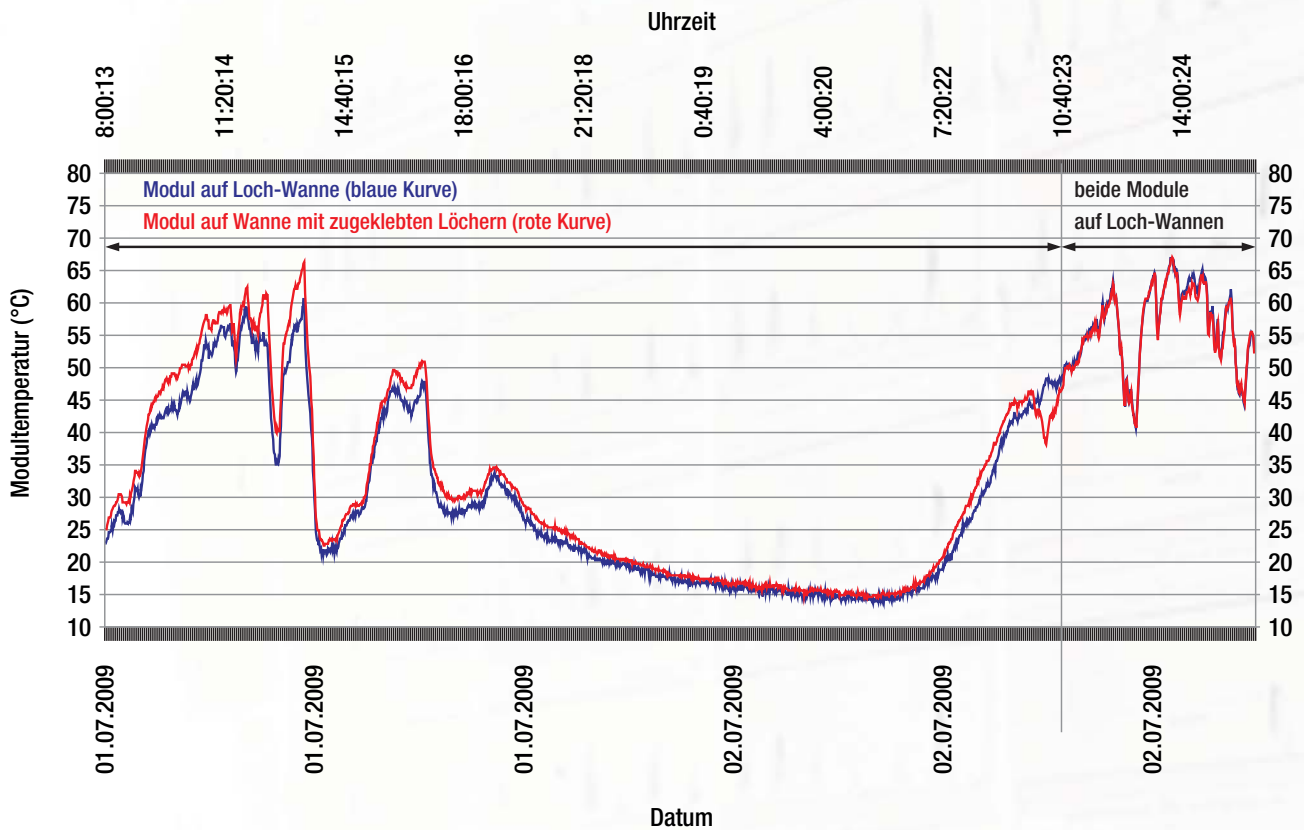


Abb. 8: Test mit einer „offenen“ und einer „verklebten“ Wanne

— Dauernd auf Loch-Wanne  
 — Ab 02.07.09, ca 10:40 Uhr, zugeklebt

Zur Erfassung der Temperatur der beiden Module des Testsystems waren (wie bereits weiter oben erwähnt) mittig auf der Rückseite der beiden Module jeweils ein kalibrierter Pt 100-Sensor befestigt. Um den Temperaturunterschied zwischen hinterlüfteter Wanne (mit Löchern) und Standardwanne (ohne Löcher) zu untersuchen, wurde am 01. Juli 2009 ein kleiner Test vorgenommen: Während alle Löcher der einen Wanne des Testsystems am 01. Juli 2009, um ca. 08:00 Uhr, mit schwarzer Folie verklebt wurden, blieben die Löcher der anderen Wanne des Testsystems offen. Einen Tag später, am 02. Juli 2009, um ca. 10:40 Uhr, wurde die Folie wieder entfernt. Dabei stellte sich der Effekt ein, wie in Abb. 8 zu sehen ist.

Deutlich ist zu erkennen, dass am 01. Juli das Modul auf der Wanne mit den zugeklebten Löchern etwa zur Mittagszeit eine um ca. 7°C höhere Temperatur hat, als das andere Modul auf der hinterlüfteten Wanne (mit offenen Löchern). Nach dem Entfernen der Folie am 02. Juli um ca. 10:40 Uhr (siehe Abb. 8) waren die Modultemperaturen wieder identisch.

Die Globalstrahlung in diesem Messzeitraum ist in Abb. 9 dargestellt.

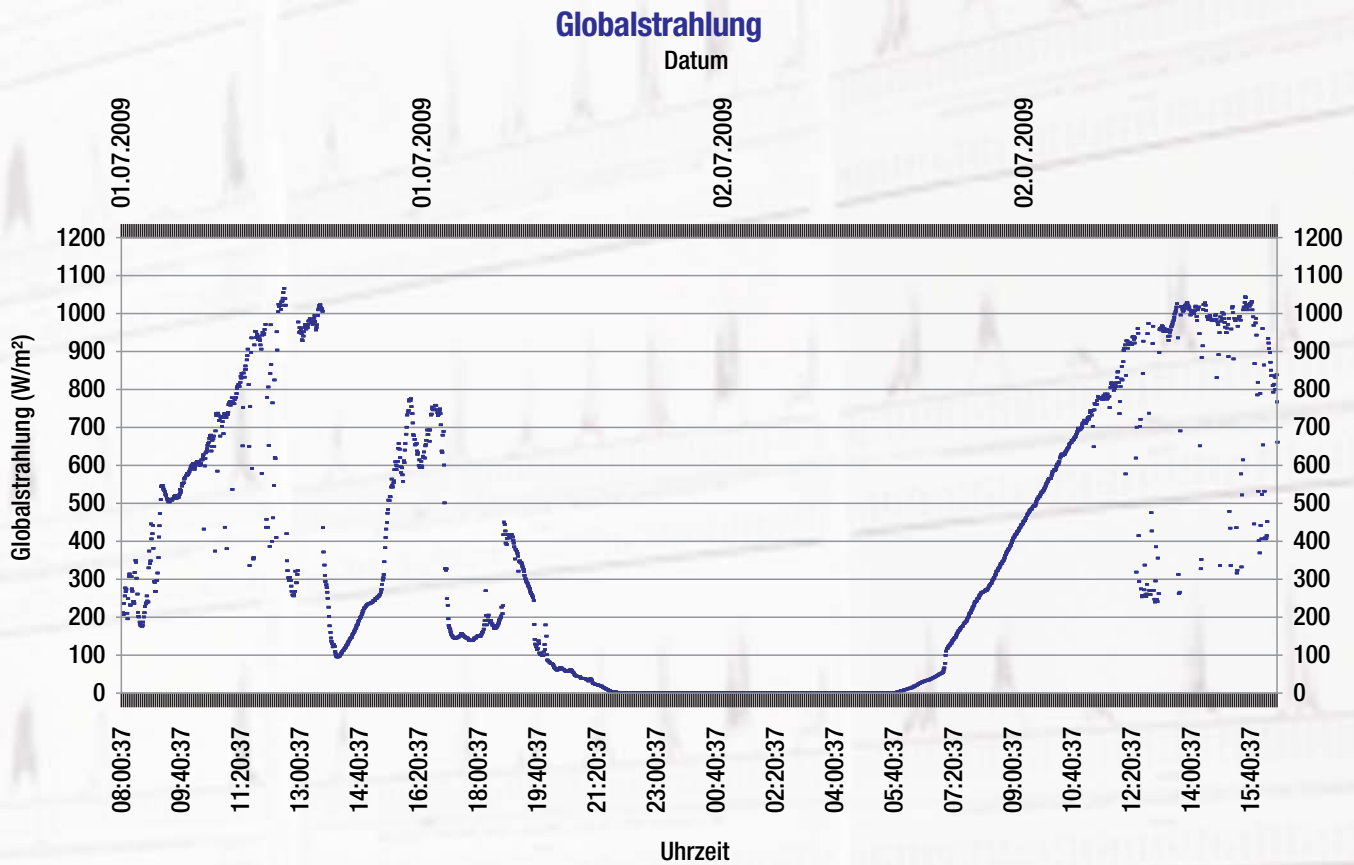


Abb. 9: Globalstrahlung am 01. und 02. Juli 2009

Am 03. August 2009 (der 01. und 02. August fielen ins Wochenende) wurden beide Wannen des Testsystems komplett mit schwarzer Folie verklebt, so dass das Testsystem während (fast) des ganzen Augusts nicht hinterlüftet war. Siehe auch Abb. 10



Abb. 10: Wannen des Testsystems komplett mit schwarzer Folie verklebt

## Unterschiedliche Hinterlüftung von kristallinen PV-Modulen bei Wannen-Montage, z. B. auf Flachdächern

In Abb. 11 und 12 sind die absoluten Energie-Erträge der Monate Mai bis August 2009 zu sehen:

### Ergebnis:

Ganz klar ist zu erkennen, dass das Referenzsystem, welches NICHT hinterlüftet ist, immer einen geringeren Ertrag gegenüber dem Testsystem aufweist. Dies gilt besonders für die Monate

Mai bis Juli 2009, in welchen das Testsystem (bis auf eine sehr kurze Ausnahme, siehe Abb. 8) ständig hinterlüftet war.

Als jedoch im August 2009 (bis auf die beiden ersten Tage) die Löcher der beiden Wannen des Testsystems zugleibt wurden (also keine Hinterlüftung mehr vorhanden war), reduzierte sich der Mehrertrag des Testsystems bezüglich des Referenzsystems deutlich.

### Experimente mit Montagewannen mit und ohne Hinterlüftung

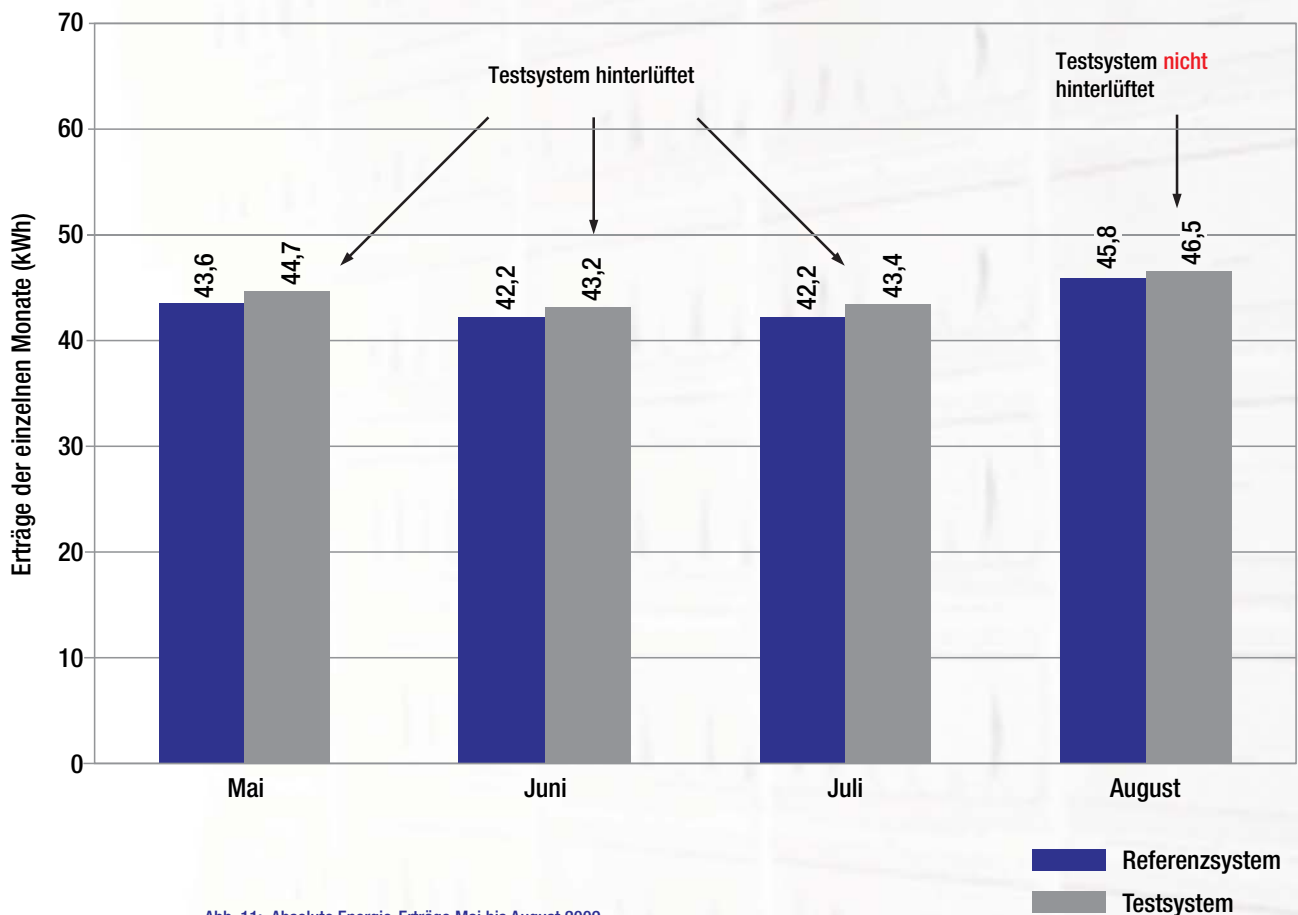


Abb. 11: Absolute Energie-Erträge Mai bis August 2009



## Experimente mit Montagewannen mit und ohne Hinterlüftung

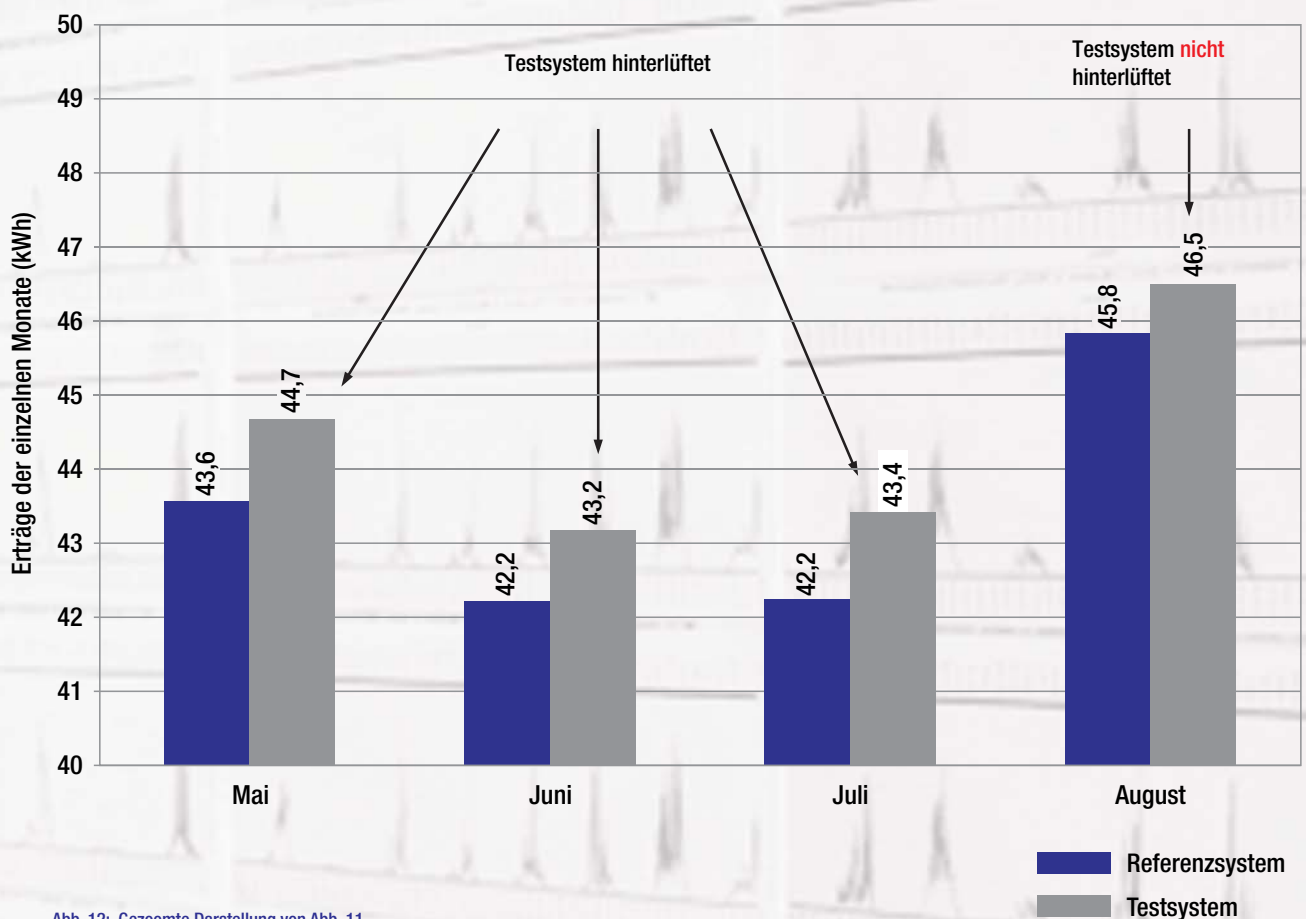


Abb. 12: Gezoomte Darstellung von Abb. 11

## Unterschiedliche Hinterlüftung von kristallinen PV-Modulen bei Wannen-Montage, z. B. auf Flachdächern

Genauer zeigen Abb. 13 und Abb 14. Hierbei wird der monatliche Mehrertrag des Testsystems bezüglich des Referenzsystems ermittelt.

### Fazit:

Im hinterlüfteten Zustand (Monate Mai bis Juli 2009) lag der Energie-Ertrag des Testsystems immer mehr als 2 % über dem Ertrag des Referenzsystems.

Als jedoch im August 2009 das Testsystem nicht mehr hinterlüftet war, also sowohl das Testsystem als auch das Referenzsystem unter exakt gleichen Bedingungen betrieben wurden, ging der Mehrertrag des Testsystems gegenüber dem Referenzsystem deutlich zurück und lag nur noch 1,5 % vor dem Referenzsystem.

### Hinweis:

Unter der Berücksichtigung, dass die meisten Modul-Hersteller in ihren Datenblättern als Grenzen für die Abweichung der Leistungswerte (und damit auch der Ertragswerte) bezüglich der Datenblatt-Nennwerte einen Bereich von +/- 3 % angeben (bei gleichen Betriebsbedingungen), so liegen die untersuchten Module mit 1,5 % Abweichung (alles ANTARIS ASM 180) des Referenz- und des Testsystems sehr eng in diesen Toleranzgrenzen, bei gleichen Betriebs- / Kühlungs-Bedingungen.

### Ertrag der Testanlage minus Ertrag der Referenzanlage, absolut (kWp)

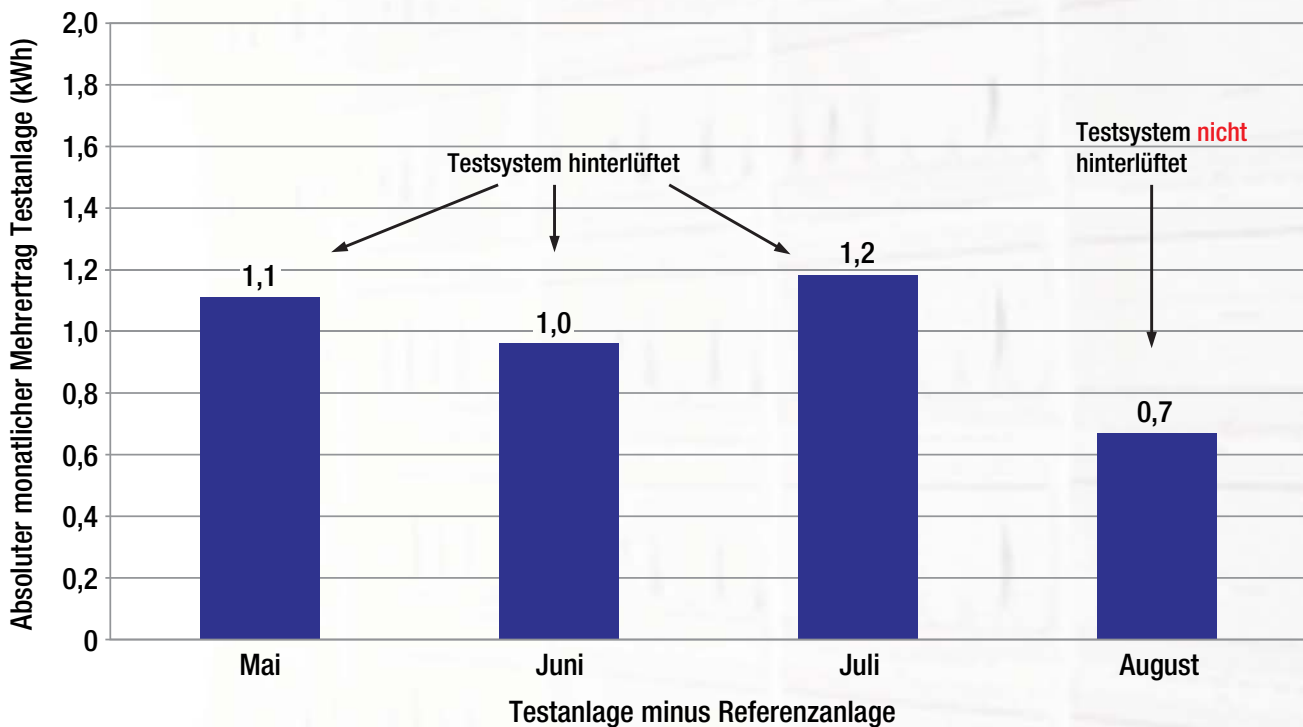


Abb. 13: Monatliche Mehrerträge des Testsystems bezüglich des Referenzsystems, als Absolutwerte

### 3. Interpretation der Ergebnisse und Fazit

Was bedeutet dies hinsichtlich der Frage, ob sich der Aufwand für eine Hinterlüftung rechnet?

Der prozentuale Ertragsvorteil des hinterlüfteten Testsystems gegenüber dem nicht hinterlüfteten Referenzsystem während der Monate Mai bis Juli 2009 beträgt im Mittel 2,5 %.

Unter gleichen Kühlungsbedingungen, beide Systeme NICHT hinterlüftet, hat das Testsystem nur noch einen Ertragsvorteil von 1,5 %.

Daraus folgt, dass der Mehrertrag durch das Hinterlüften (mit dem beschriebenen Versuchsaufbau) im Mittel bei ca. 1 % liegt.

#### Wichtig:

Dieses Ergebnis gilt nur für die heißen vier Sommermonate (Mai bis August)

In diesen vier Sommermonaten, welche zeitlich 33,3 % eines Jahres ausmachen, werden jedoch (wie weiter oben erwähnt, siehe auch Abb. 5) knapp 50 % des Jahres-Energie-Ertrages erwirtschaftet.

Daraus kann gefolgert werden:

Unter der Annahme, dass sich während der „restlichen“ acht Monate kein Ertragsvorteil durch Hinterlüftung ergeben würde, da einfach die Außentemperaturen zu gering sind, würde dies bedeuten, dass die Hinterlüftung auf das ganze Jahr (12 Monate) bezogen etwa einen Energie-Mehrertrag in der Größenordnung von 0,3 % ergeben.

#### Ertrag der Testanlage minus Ertrag der Referenzanlage, prozentual (%)

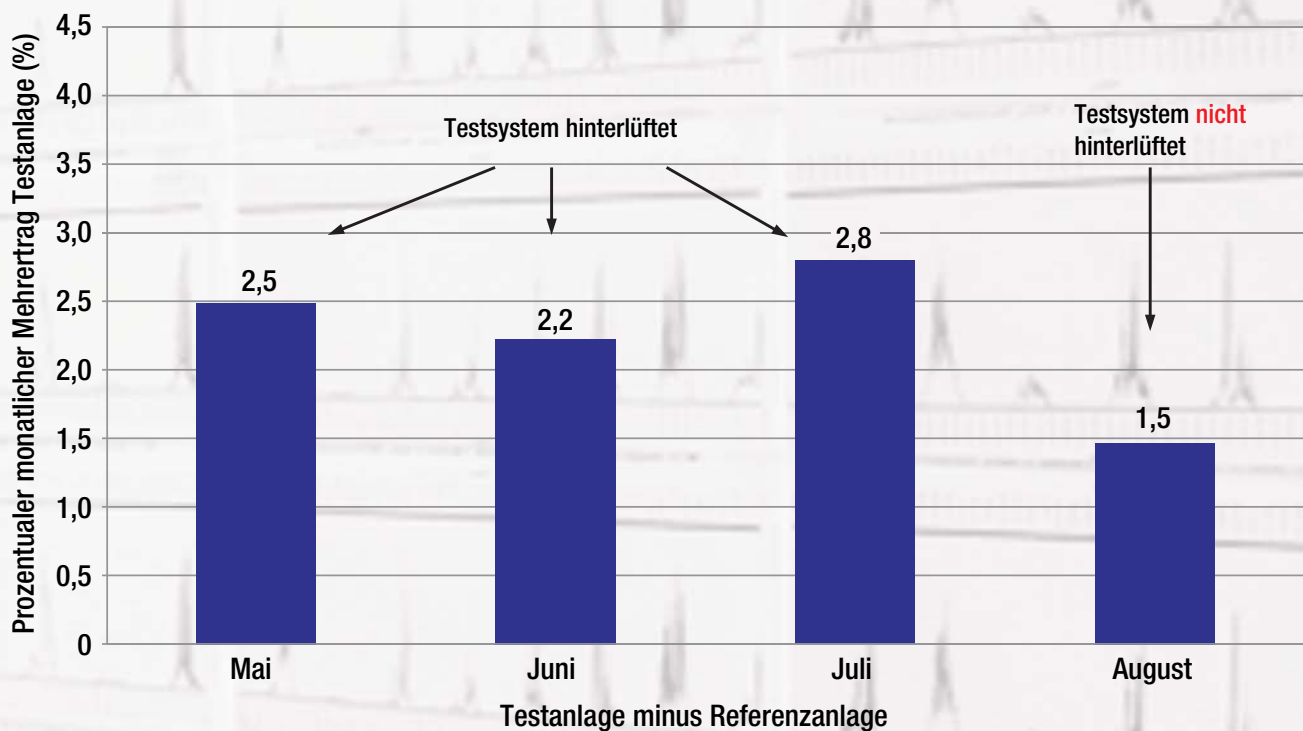


Abb. 14: Monatliche Mehrerträge des Testsystems bezüglich des Referenzsystems, in Prozent

#### **Allerdings:**

Für die Monate April, September und evtl. Oktober können bei günstigen Temperaturen auch noch geringe Ertragsvorteile durch Hinterlüftung auftreten, die jedoch sehr deutlich unter denen der Monate Mai bis August liegen, so dass der o. g. Jahresvorteil von 0,3 % überschritten wird.

Weiterhin:

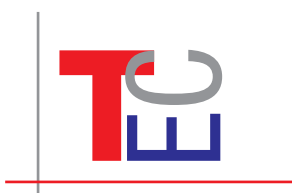
An „windigen“ Standorten (z. B. an der Küste) ist eine gewisse Verstärkung der Kühlung durch Hinterlüftung zu erwarten. Allerdings werden dort auch Module ohne Hinterlüftung durch den vorherrschenden Wind an der Vorder- (Ober-) Seite gekühlt, so dass dabei wiederum eine gewisse Relativierung eintritt.

#### **Abschließend:**

Selbst bei sehr optimistischer Auslegung der Messergebnisse wird sich in mitteleuropäischen Breiten, d. h. auch in großen Teilen von Deutschland, durch die Art der untersuchten Hinterlüftung mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit, auf das Jahr bezogen, ein Ertragsvorteil ergeben, der deutlich unter 2 % liegt.

## **4. Equipment**

<b>Art des Gerätes:</b>	<b>Hersteller:</b>	<b>Typ:</b>
• PV-Modul	ANTARIS	ASM 180
• Montagewanne	Ubbink Solar	ConSole
• Wechselrichter	Mastervolt	Soladin 600
• Digitalmultimeter	Voltcraft	VC 820
• Zähler	AEG	Form J16 G
• Messrechner	Dell	Modell DHM
• Mess-Software	Microsoft	VB 6.0
• Auswertesoftware	Microsoft	EXCEL 2003



## **TEC – Institut für Technische Innovation 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)