



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

## FOTOVOLTAIK FASSADE

# NEUES PV FASSADENSYSTEM FÜR MODULE MIT AMORPHEN ZELLEN

## Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

**Richard Durot, ZAGSOLAR**

Amlehnstrasse 33, CH-6010 Kriens, [r.durot@zagsolar.ch](mailto:r.durot@zagsolar.ch), [www.zagsolar.ch](http://www.zagsolar.ch)

**Thomas Wyss, Wyss Aluhit AG**

Grossmatte 9, CH-6014 Littau, [info@wyssaluhit.ch](mailto:info@wyssaluhit.ch), [www.wyssaluhit.ch](http://www.wyssaluhit.ch)



## **Impressum**

Datum: 25. November 2008

**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](http://www.bfe.admin.ch)

BFE-Bereichsleiter: Herr Stefan Oberholzer, Bereichsleitung Forschung PV,  
[stefan.oberholzer@bfe.admin.ch](mailto:stefan.oberholzer@bfe.admin.ch)

Projektnummer: 100136

Bezugsort der Publikation: [www.energieforschung.ch](http://www.energieforschung.ch) / [www.photovoltaiik.ch](http://www.photovoltaiik.ch)

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



## 4. Ziel der Arbeit

Ziel des Projektes PV-Fassade war die Weiterentwicklung beziehungsweise die Adaption eines bestehenden und bewährten Montagesystems für Fassadenelemente hin zu einem Montagesystem für Dünnschichtsolarmodule. Das Montagesystem sollte eine optisch gefällige Integration der Module in Gebäudefassaden ermöglichen. Es musste anwendbar gemacht werden auf Betonwänden, Mauerwerk, aber auch Holzwänden oder gar auf Industriegewänden mit Innenwand-Metallkassetten. Die Praxistauglichkeit des Montagesystems sollte durch die Realisierung einer Pilotanlage belegt werden.

## 5. Anlagenbeschreibung

### 5.1 Befestigungssystem

Bei der Unterkonstruktion für die Solarmodulbefestigung wurde von einem bewährten Leichtmetall-System der Firma Wyss Aluhit AG ausgegangen. Dieses System ist schon in vielen Fassaden mit Keramikplatten, mit Glaspanelen, aber auch mit speziellen Photovoltaikerelementen eingesetzt worden. Es ermöglicht den Einsatz von Photovoltaikplatten als gestalterisches Element im Fassadenbau.

In Hinblick auf die Verwendung von Dünnschichtmodulen wurde die Verankerungsart im Gebäude und die Lagerung der Module genauer untersucht und das System entsprechend weiterentwickelt. Im resultierenden System Aluhit-P werden nun spezielle EPDM-Profilstücke eingesetzt, welche das Verschieben der Photovoltaikplatten verhindern.

Bild 1 zeigt das Befestigungssystem bei Verankerung auf einer Betonwand. Die Solarmodule bilden die Gebäudehaut und schützen die Isolationsschicht. Zwischen den PV-Platten und der Isolation/Unterkonstruktion besteht ein Hinterlüftungsraum.

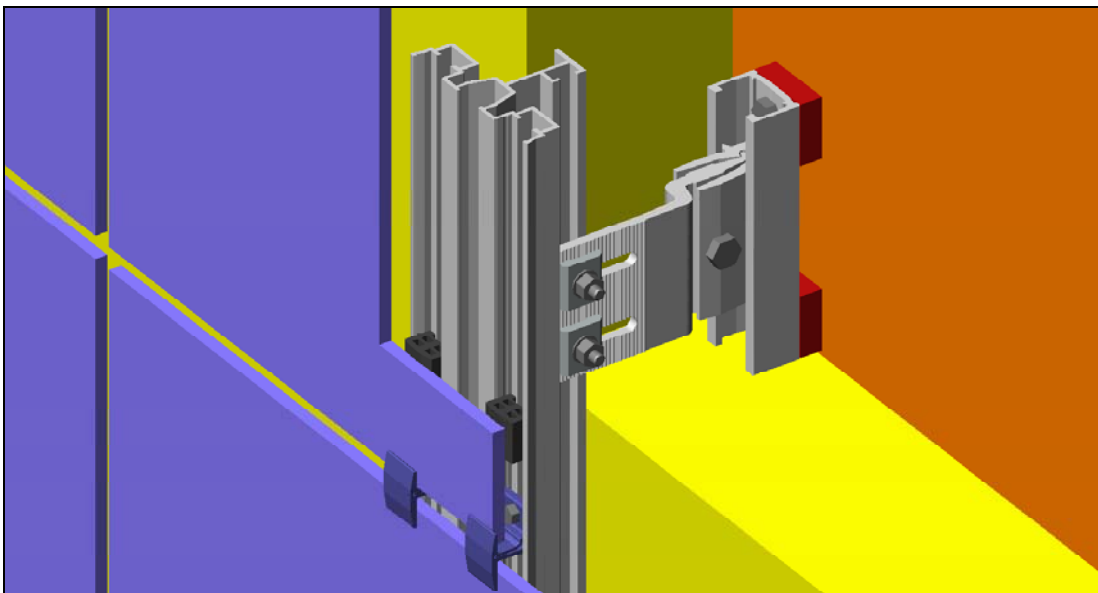


Bild 1: ALUHIT-P- Befestigungssystem bei Verankerung auf einer Betonwand oder Mauerwerk

Während die Verankerung auf Mauerwerk und Holz in gleicher Weise wie bei Betonwänden erfolgen kann, musste bei Metallkassetten eine Abstützung auf die einzelnen Metallstege erreicht werden. Bild 2 zeigt den resultierenden Wandaufbau bei Einsatz von Dünnschichtmodulen auf einer Industriegewand mit Innenwandkassetten. Zwischen Solarmodul und Isolation ergibt sich auch hier ein Hinterlüftungsraum, der den Ausgleich von Wärme und Feuchte gewährleistet.

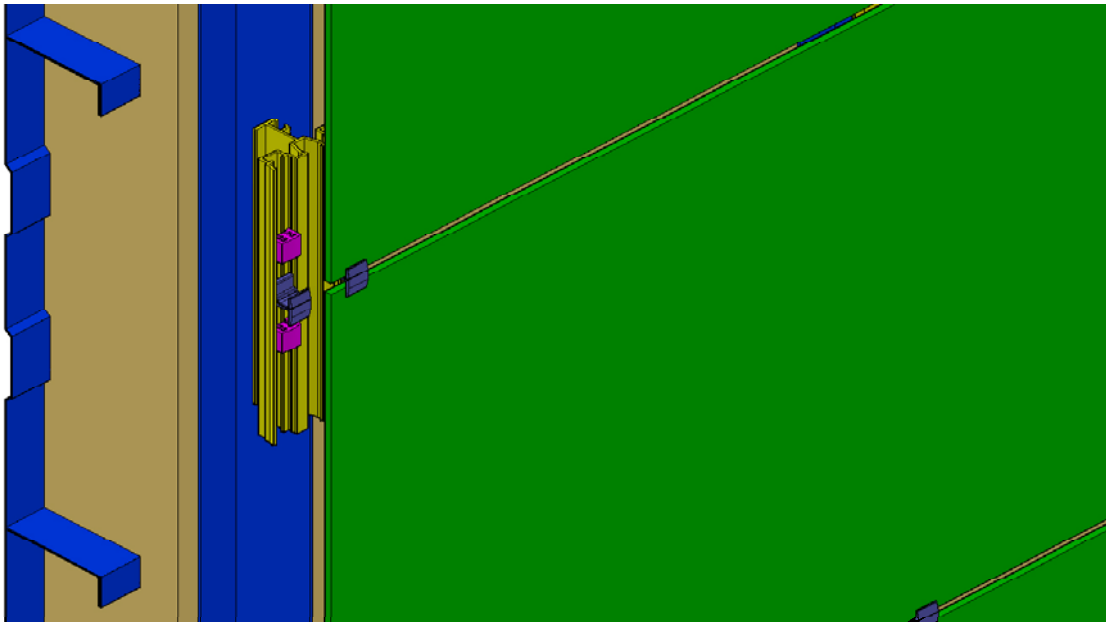


Bild 2: ALUHIT-P- Befestigungssystem bei Verankerung auf Innenwandkassetten

## 5.2 Pilotanlage

Die Praxistauglichkeit des neuen Befestigungssystems wird an einer Pilotanlage in Goldau aufgezeigt.

Mit den Gemeindewerken Arth konnte ein Bauherr gefunden werden, welcher die Erstellung der Pilotanlage ermöglichte. Geplant und realisiert wurde eine Anlage auf 2 Fassadenseiten (ost und süd) des Trafogebäudes Wichel in Goldau. Bild 3 zeigt die Anordnung der Solarfelder mit je 7 Modulreihen am Trafogebäude.

Am Autobahnanschluss in Goldau weist die Pilotanlage gut sichtbar auf die Möglichkeit von Dünnschichtsolarmodulen als Fassadenelemente hin. Die reduzierte Sonneneinstrahlung auf der Ostfassade wird dabei bewusst in Kauf genommen.

Die Solarmodulfelder der zweiteiligen Anlage sind an der Kante sauber zusammengefügt, was die Einsatzmöglichkeit des Systems im Kantenbereich von Fassaden aufzeigt.



Bild 3: Trafogebäude Wichel in Goldau, Gemeindewerke Arth, Ansicht Süd- und Ostfassade

## Montage:

Die Montage der Unterkonstruktion und der Solarmodule erfolgte im September 2006. Es wurde ein Baugerüst erstellt, welches das Anbringen der Konsolen und Befestigungsschienen ermöglichte. Alle Strangkabel und auch die eingesetzten Temperatursonden und Messkabel wurden vorinstalliert und dann die Solarmodule in die Fassadenhalteklammern eingesetzt. Die Montagearbeiten mit dem weiterentwickelten Befestigungssystem Aluhit-P verliefen den Erwartungen entsprechend gut. Es zeigte sich, dass der Einsatz von EPDM-Profilstücken von Anfang an eine genaue Platzierung verlangte.

## Anlagecharakteristiken

Solarmodule: 77 Module der Firma EPV mit 40W Nennleistung Typ EPV40

Solarzellenfelder: Die Anlage besteht aus einem Anlagenteil an der Südfassade mit 42 Modulen und einem Anlagenteil an der Ostfassade mit 35 Modulen

Wechselrichter: Zwei Wechselrichter Solarmax2000C befinden sich im Trafogebäude auf der Höhe der Solarmodule.

Datenerfassung: Mit einem Datenlogger werden die Stundenmittelwerte von folgenden Größen der Anlage erfasst:

- Sonneneinstrahlung Südfassade und Ostfassade
- Umgebungstemperatur
- Paneltemperaturen Südfassade oben und unten, Ostfassade oben
- DC-Spannungen Süd- und Ostfassade
- DC-Ströme Süd- und Ostfassade
- Energieertrag der Anlage

Anzeigetafel: Beim Eingang zum Trafogebäude ist eine Anzeigetafel montiert, welche die Funktion der Anlage erklärt und diverse Informationen zur Solaranlage anzeigt.



Bild 4: Ostfassade mit Eingang ins Trafogebäude und Anzeigetafel

## 6. Hauptergebnisse

### 6.1 Fassadensystem für Dünnschichtmodule auf verschiedenen Wandaufbauten

Das bestehende Aluhit-Montagesystem wurde hinsichtlich der Verwendung von Dünnschichtmodulen und des Einsatzes an verschiedenen Wänden näher untersucht.

Es wurden die Systemkomponenten festgelegt für den Aufbau an Betonwänden, Mauerwerk, an Holzfassaden und Industrierwänden mit Innenwandkassetten.

Die verschiedenen Wandaufbauten wurden durch Industrierversuche, aber vor allem durch umfangreiche Untersuchungen an der Hochschule für Technik und Architektur Luzern geprüft.

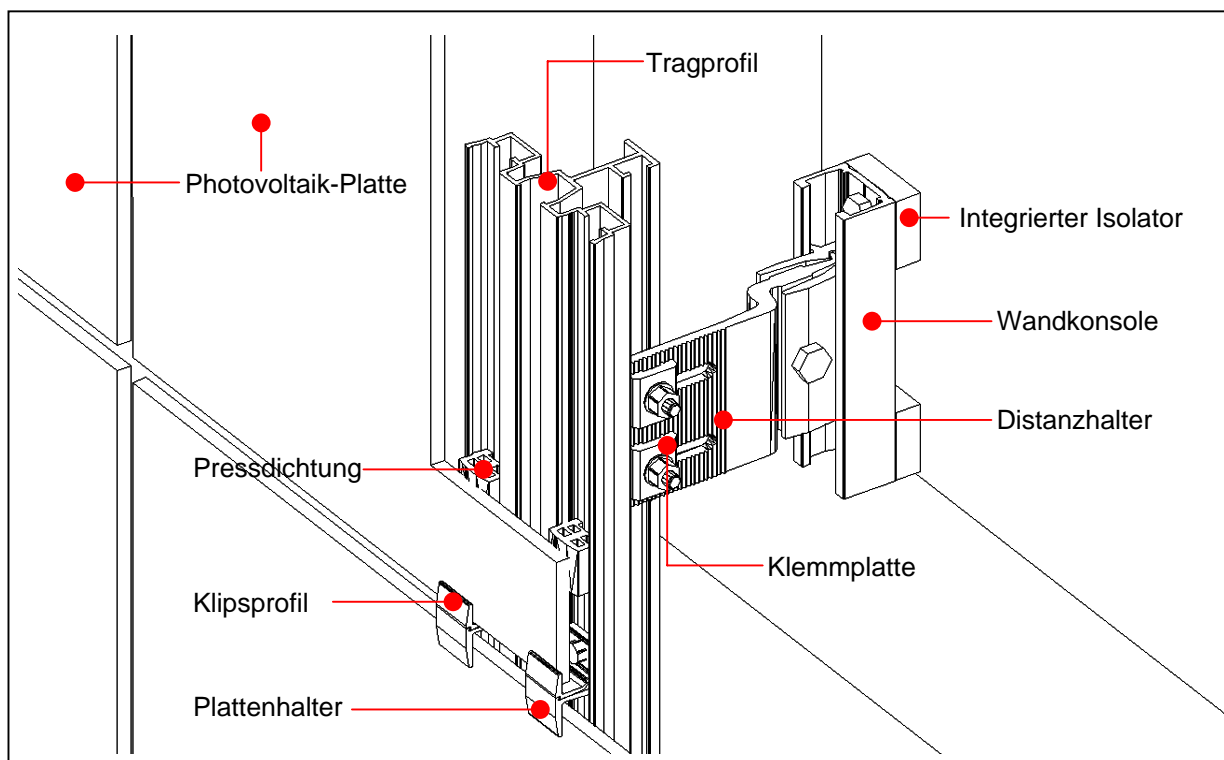


Bild 5: Teile des Aluhit-P –Systems

Beim Aluhit-System wurden die folgenden Details hinsichtlich der Statik unterschieden und überprüft:

1. Solarmodule (Photovoltaik-Platten): Liegen die resultierenden Spannungen und Durchbiegungen unter den Grenzwerten
2. Halteklips der Solarmodule: Festigkeit des Klips, Stabilität der Modulhalterung
3. Aluhitschiene (Tragprofil) : Fixierung, Durchbiegung
4. Wandkonsole: Verankerung in Beton, Mauerwerk, Holz und Metallkassetten

Im Rahmen von Semesterarbeiten und folgenden Untersuchungen wurden an der HTA Belastungsversuche mit Dünnschichtmodulen von Dunasolar durchgeführt. Die doppelglasigen Module (Gesamtdicke ca. 6.2mm) wurde in Schritten flächenmässig bis 1400 N/m<sup>2</sup> belastet und die Durchbiegungen und Dehnungen an verschiedenen Stellen bemessen. Diese Tests und Berechnungen mit dem Plattenberechnungsprogramm Cedrus zeigten die Verwendbarkeit von Dünnschichtmodulen als Fassadenelemente bei Fixierung mit dem Aluhit-System auf. Die Untersuchungen ergaben, dass bei einer Modulbreite von 600mm und einer Länge von 1200mm mindestes Druckkräfte von 1220 N/m<sup>2</sup> aufgenommen werden können.

Die Berechnungen zu den Halteklips zeigten auf, dass sogar 4 x schwerere Platten problemlos gehalten werden könnten.

Die Überprüfung der Aluhitschiene und ihrer Abstützung über Klemmplatte und Distanzhalter auf die Konsolen gab Aufschluss über die maximal möglichen Längen (Konsolenabstände), die je nach

Windstärke gewählt werden dürfen. Tabelle 1 zeigt die maximalen Längen  $l_{max}$  bei entsprechender Windkraft  $q_{Wind}$  (in kN/m<sup>2</sup>) und Profilbelastung  $q$  für zwei Konsolen an den Enden des Profils auf.

$q_{Wind}$ (in kN/m <sup>2</sup> )	0.9	1.05	1.2	1.35	1.5	1.65	1.8	1.95	2.1	2.25
$q$ (in kN/m)	0.56	0.65	0.75	0.84	0.93	1.03	1.12	1.21	1.31	1.40
$l_{max}$ (mm)	2234	2073	1930	1824	1733	1647	1580	1520	1461	1413

Tabelle 1: maximale Konsolenabstände in Abhängigkeit der Windbelastung

Die Berechnungen bezüglich der Schraubverbindungen zur Fixierung der Aluhitschiene auf der Wandkonsole ergaben ebenfalls eine zufriedenstellende Sicherheit der Verbindung.

Bei der Überprüfung der Verankerung des Aluhit-Fassadensystems in der Tragstruktur des Gebäudes wurden Grenzen aufgezeigt. Für die vorgegebenen Wandaufbauten auf Beton, Mauerwerk und Holz konnte die sichere Kraftübertragung auf die Tragstruktur nachgewiesen werden. Beim Aufbau auf Metallkassetten ergaben die Untersuchungen, dass die durchgehende vertikale Winkelschiene aus Sicherheitsgründen unten abgestützt werden sollte. Eine einfache tabellarische Darstellung der Resultate zur Verankerung ist kaum erstellbar, da zu viele Faktoren einen Einfluss haben.

## 6.2 Pilotanlage in Goldau

Die Pilotanlage am Trafogebäude Wichel in Goldau weist eine Nennleistung von 3.1 kWp auf. Sie ist zweiteilig. An der Südfassade sind 42 Module resp. 1.68 kWp und an der Ostfassade 35 Module resp. 1.4 kWp. Diagramm 1 und Tabelle 2 zeigen die Monatswerte von Einstrahlung und Energieproduktion für die beiden Teilanlagen von Inbetriebnahme bis Ende 2007 auf.

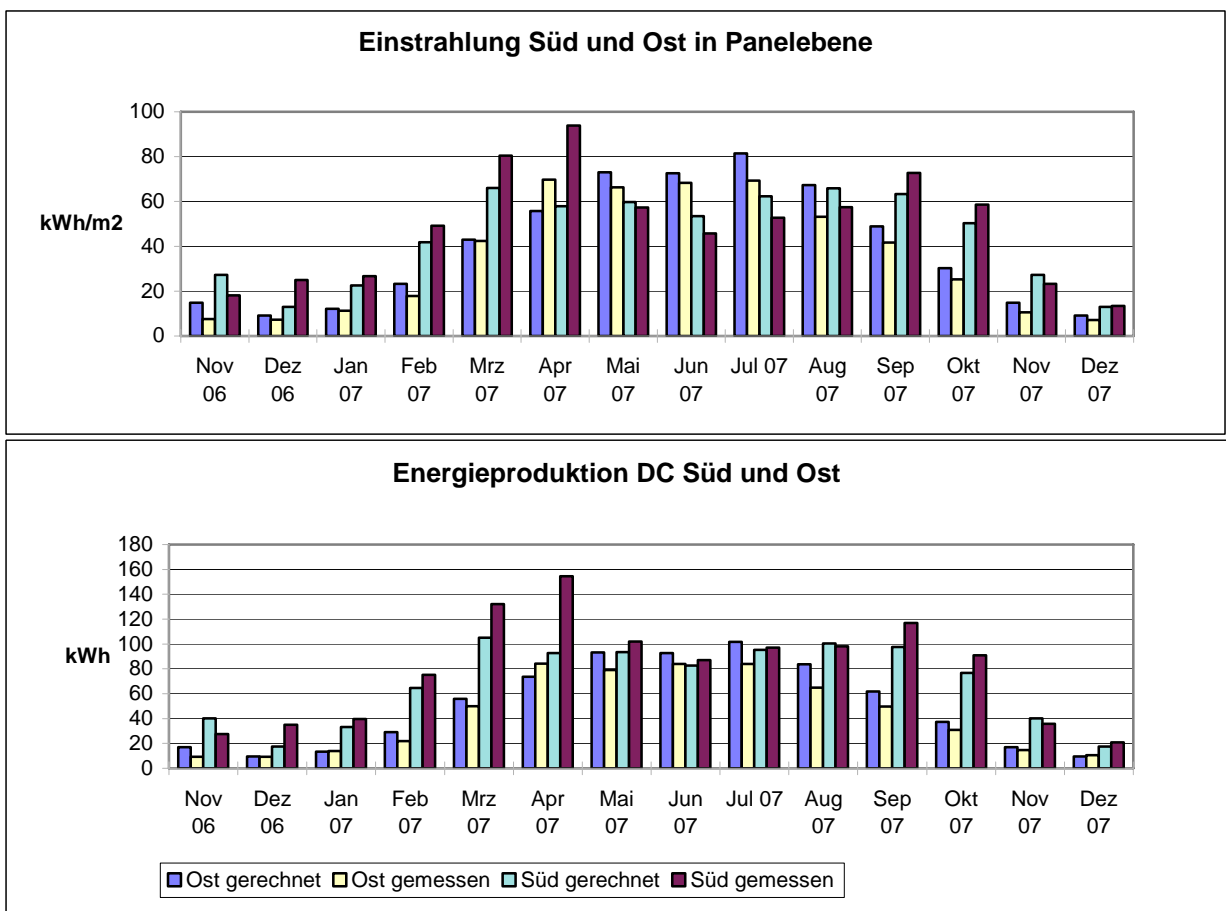


Diagramm 1: Monatserträge der Teilanlagen an der Süd- und Ostfassade

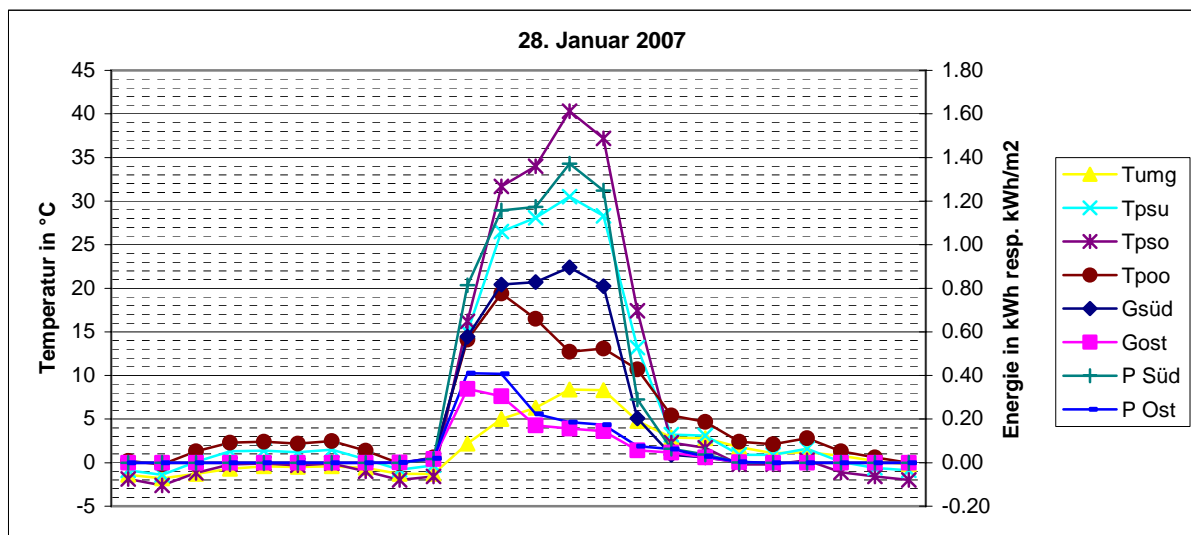
Monat	Einstrahlung Ost		Energie DC Ost		Einstrahlung Süd		Energie DC Süd		AC-Energie	
	gerechnet	gemessen	gerechnet	gemessen	gerechnet	gemessen	gerechnet	gemessen	gerechnet	gemessen
Nov 06	14.8	7.6	17.1	9.3	27.2	18.1	40.1	27.5	49.7	21.7
Dez 06	9.2	7.3	9.6	9.3	13	25	17.5	34.9	21.4	35.9
Jan 07	12.1	11.3	13.5	13.9	22.5	26.7	33.2	39.6	39.9	44.2
Feb 07	23.2	17.8	29.2	21.9	41.8	49.2	64.7	75.3	84.7	83.1
Mrz 07	42.9	42.3	55.8	50	66.1	80.5	105.1	132	147.8	161.1
Apr 07	55.8	69.7	73.7	84.2	57.9	93.8	92.7	154.4	152.1	201.3
Mai 07	73.1	66.4	93.3	79	59.8	57.3	93.4	102	170.8	153
Jun 07	72.6	68.4	92.6	84	53.5	45.8	82.7	87	159.4	140
Jul 07	81.4	69.3	101.8	84	62.4	52.8	95.3	97	180.4	149
Aug 07	67.4	53.2	83.8	65	65.9	57.5	100.4	98	168.6	134
Sep 07	49	41.6	61.7	49.7	63.3	72.8	97.5	116.9	146.2	140.7
Okt 07	30.2	25.2	37.3	30.8	50.3	58.6	76.7	91	103.2	102
Nov 07	14.8	10.6	17.1	14.7	27.2	23.2	40.1	35.7	49.7	36.6
Dez 07	9.2	7.2	9.6	10.5	13	13.4	17.5	20.8	21.4	19.1
<b>total</b>	<b>555.7</b>	<b>497.9</b>	<b>696.1</b>	<b>606.3</b>	<b>623.9</b>	<b>674.7</b>	<b>956.9</b>	<b>1112.1</b>	<b>1495.3</b>	<b>1421.7</b>
<b>2006</b>	<b>24</b>	<b>14.9</b>	<b>26.7</b>	<b>18.6</b>	<b>40.2</b>	<b>43.1</b>	<b>57.6</b>	<b>62.4</b>	<b>71.1</b>	<b>57.6</b>
<b>2007</b>	<b>531.7</b>	<b>483</b>	<b>669.4</b>	<b>587.7</b>	<b>583.7</b>	<b>631.6</b>	<b>899.3</b>	<b>1049.7</b>	<b>1424.2</b>	<b>1364.1</b>

Tabelle 2: Einstrahlungs- und Ertragswerte der Teilanlagen an Ost- und Südfassade in kWh

Auffallend sind die Monate März und April 07, als auf Grund der überdurchschnittlichen Einstrahlung auch ein überdurchschnittlicher Ertrag resultierte. Über das Jahr 2007 hinweg produzierte die ganze Anlage 1364.1 kWh. Dies sind 4.2% weniger als es die Ertragsberechnung mittels PVSYST erwarten liess. Der Minderertrag ergab sich auf Grund des bedeutend kleineren Energieertrags auf der Ostfassade. Dieser lag mit 588kWh 12.2% unter dem Erwartungswert, während an der Südfassade mit 1050 kWh 16.7% mehr Ertrag als erwartet produziert wurden. Es zeigte sich, dass sich die teilweise Beschattung der Ostfassade zur Horizont, nahe Gebäude und Bäume stärker auswirken als es die Ertragsermittlung mittels PVSYST und Besonnungsdiagramm erwarten liess.

Interessante Erkenntnisse ergaben auch die Tagesverläufe von Einstrahlung, produzierter Energie und Modultemperaturen. In den folgenden Diagrammen 2 sind die Stundenmittelwerte eines sonnigen Tages im Januar, April, Juli und Oktober eingetragen.

Im Januar werden an der Südfassade DC-Leistungen von über 1.36kW (bei etwa 900W/m2 Einstrahlung) erreicht. Im Frühling sinkt die Einstrahlung auf die Fassadenfläche, was zu kleineren Energieerträgen führt und im Sommer liegen die Einstrahlungs- und Ertragswerte auf der Südseite noch tiefer. Im Unterschied dazu sind die DC-Leistungen des Anlageteils der Ostfassade im Winter am tiefsten. Sie steigen an bis zu den Höchstwerten im Sommer, wenn sie die Ertragswerte der Südfassade deutlich übertreffen.



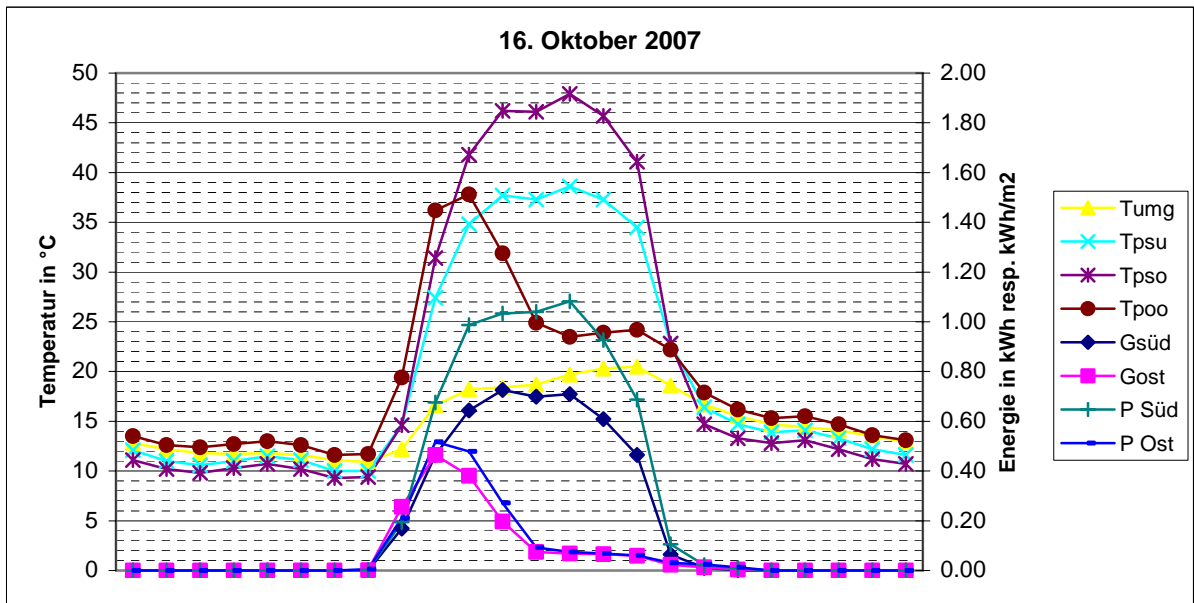
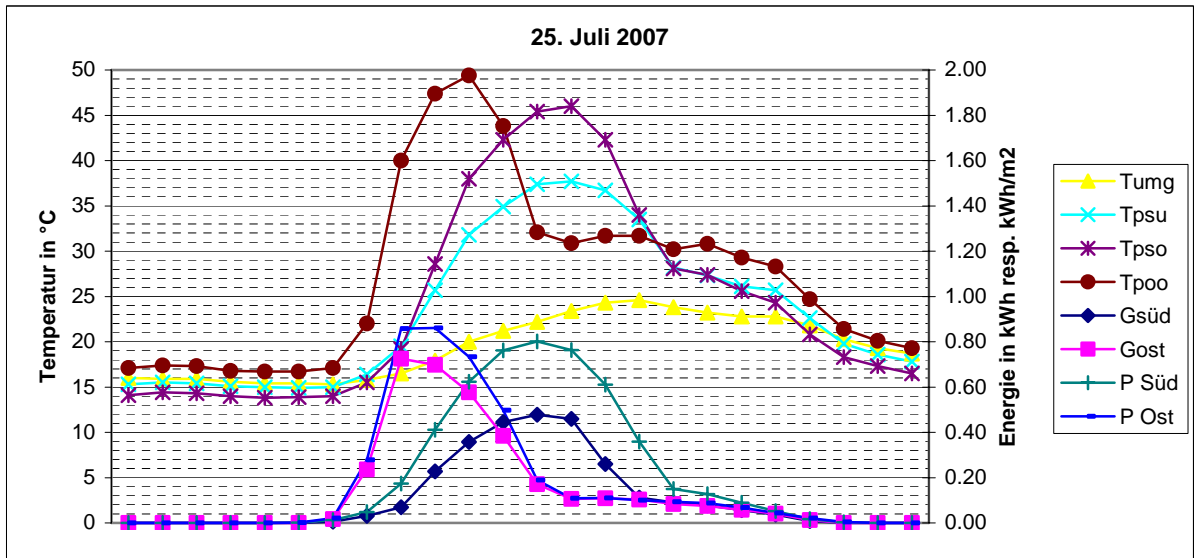
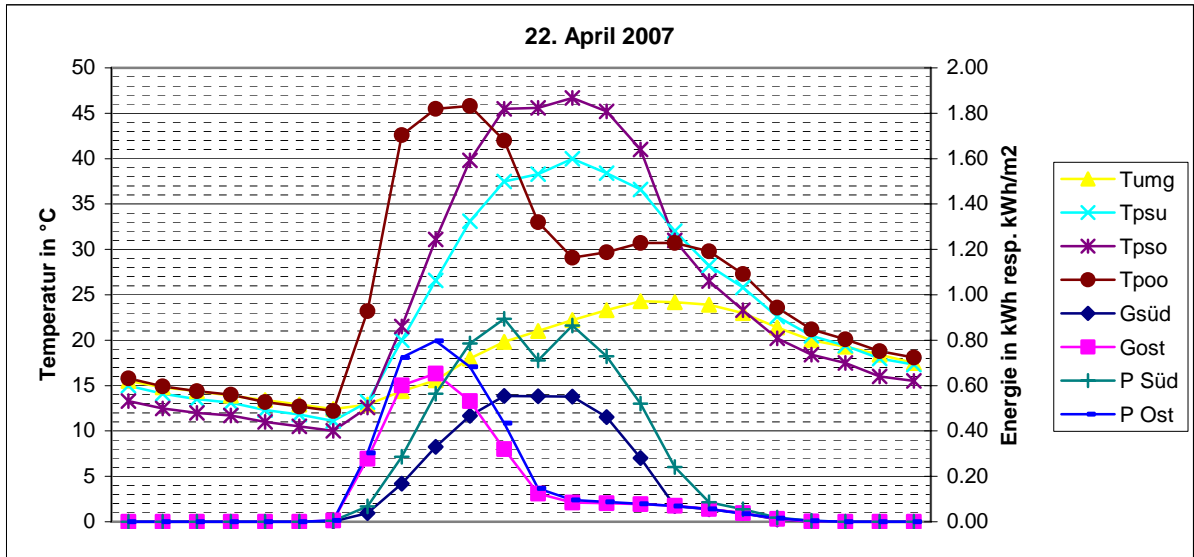


Diagramme 2: Tagesverläufe von Umgebungstemperatur Tmug, Paneltemperaturen Süd unten Tpsu, oben Tps0, Ost oben Tps0, Einstrahlung Süd Gsüd, Ost Gost, Produktion Südfassade P süd, Ost P Ost

Die Paneltemperatur der obersten Modulreihe liegt im Betrieb deutlich über der Paneltemperatur der untersten Reihe. An einem sonnigen Tag werden an der Südfassade über rund 3.60m Höhendifferenz Temperaturunterschiede von bis 10° C gemessen. Der Temperaturkoeffizient des eingesetzten Moduls EPV-40 beträgt  $P_{mp} = -0.19\%/^{\circ}\text{C}$ , was also zu ca. 2% Leistungsunterschied zwischen oberster und unterster Modulreihe führt. Bei kristallinen Zellen mit üblichen Temperaturkoeffizienten von ca.  $-0.45\%/^{\circ}\text{C}$  ergäben sich Leistungsunterschiede von 4.5%. Vor allem bei hohen Fassaden sollte dem resultierenden Temperaturunterschied durch geeignete Strangbildung Rechnung getragen werden.

Die höchsten Paneltemperaturen werden nicht an der Südfassade, sondern mit etwa 50° an der Ostfassade an sonnigen Morgen im Sommer gemessen.

## 7. Schlussfolgerungen / Perspektiven

Mit dem Aluhit-P-Befestigungssystem wurde ein Montagesystem weiterentwickelt und untersucht, welches nun den Einsatz von Dünnschichtmodulen in Fassaden ermöglicht. Dünnschichtmodule bieten damit eine kostenoptimierte Alternative zu oft kundenspezifisch gefertigten kristallinen Modulen.

Die Erstellung und die Betriebsresultate der Pilotanlage bestätigen die Einsatzmöglichkeit von Dünnschichtmodulen in Fassaden. Eine zweite grössere Fassadenanlage mit diesem Montagesystem wurde bereits beim Spielleute-Pavillon in Luzern realisiert (vgl. Bild 6). Weitere sollen folgen.

Die Erarbeitung dieses Fassadensystems wurde ermöglicht durch die Unterstützung des Bundesamtes für Energie. Gerne möchten wir uns dafür vielmals bedanken.



Bild 6: PVA Spielleute Luzern mit 4.5kW fassaden- und 15kW-dachintegriert

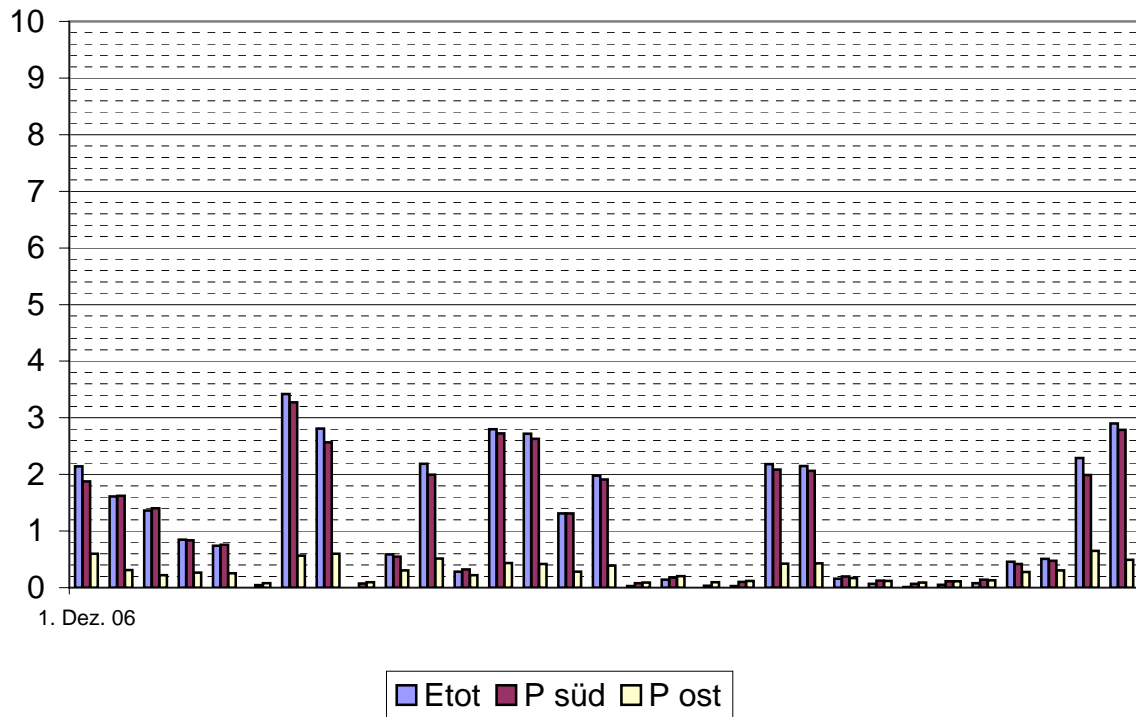
## 8. Publikationen

Jahresberichte der letzten 4 Jahre; Bundesamt für Energie

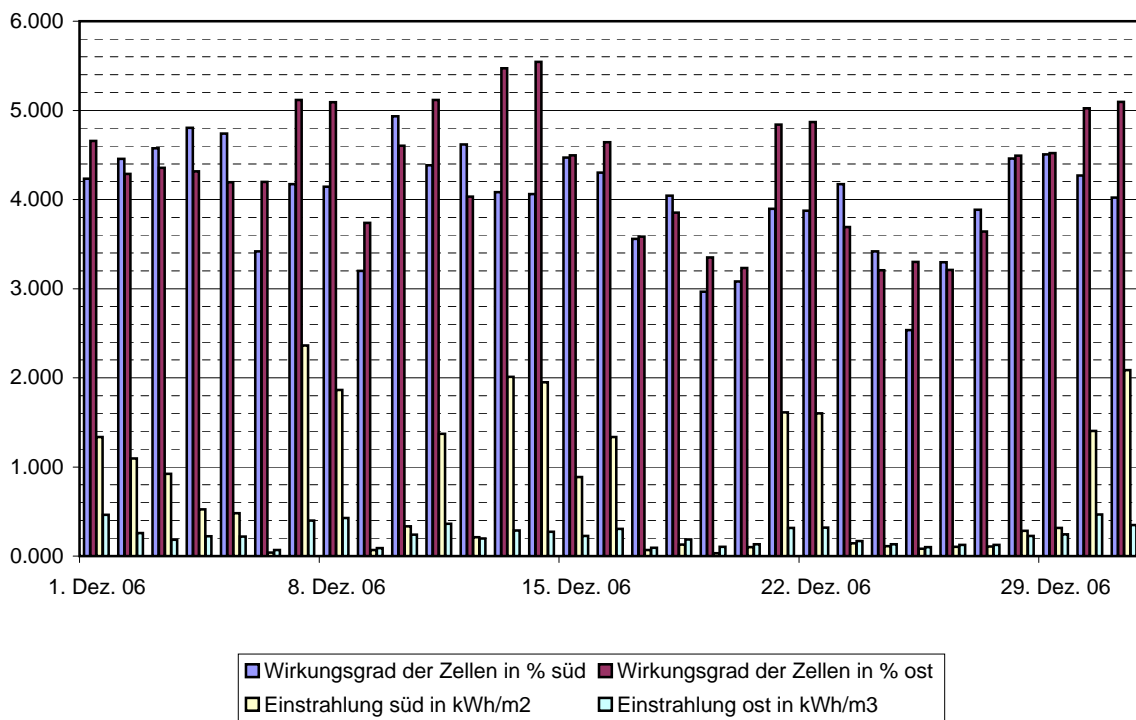
## 9. Anhang

Messresultate der Pilotanlage

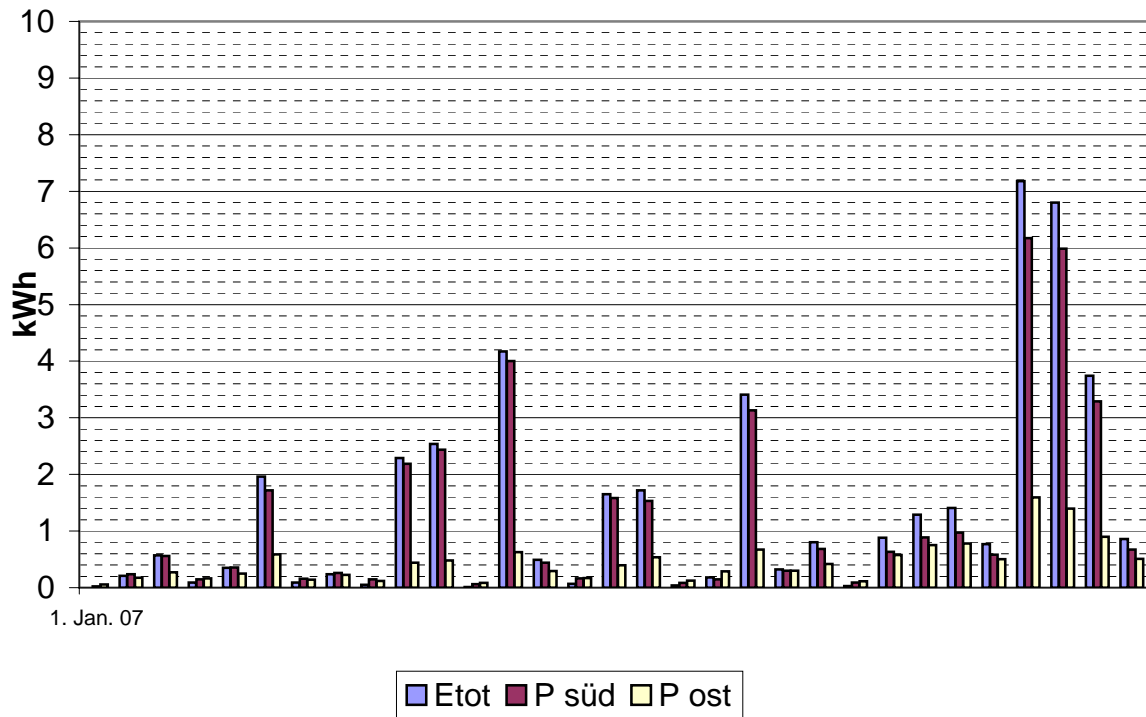
## PVA GWA Wichel Tageswerte Dezember 06



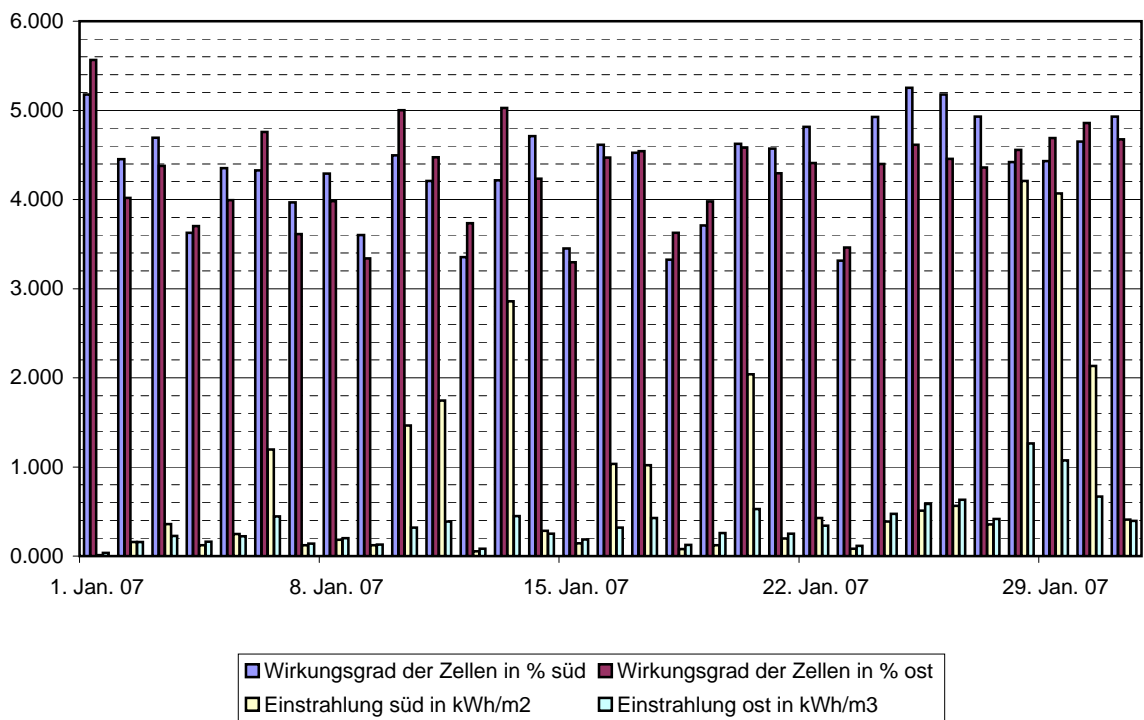
Ertrag DC im ganzen Monat in kWh		Edcsüd	34.7	Edcost	9.3
Gesamtertrag AC im ganzen Monat in kWh	35.9				
Einstrahlung ganzer Monat in kWh/m <sup>2</sup>		Gsüd	25.0	Gost	7.3



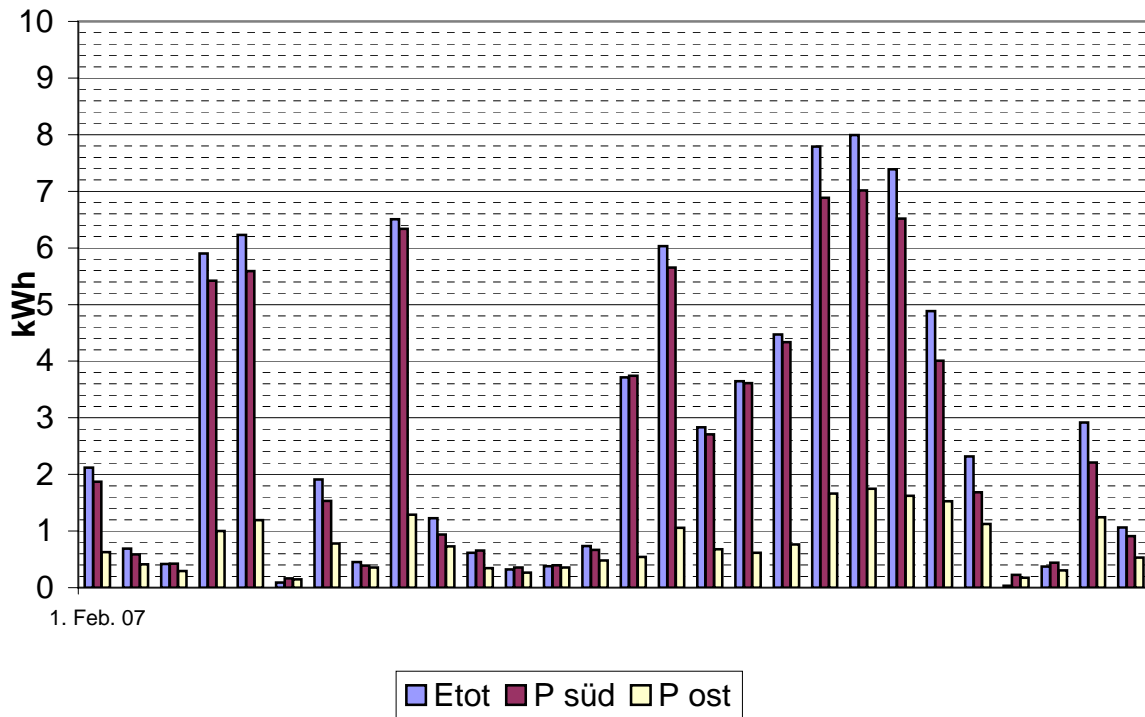
## PVA GWA Wichel Tageswerte Januar 07



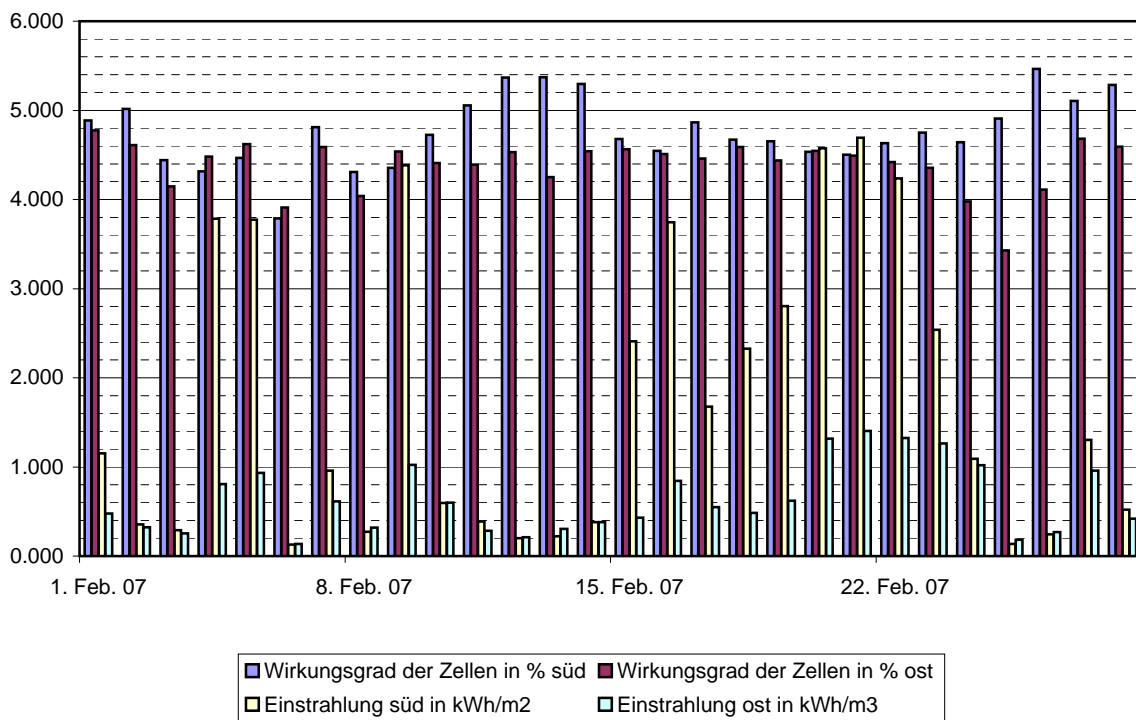
Ertrag DC im ganzen Monat in kWh		Edcsüd	39.6		Edcost	13.9
Gesamtertrag AC im ganzen Monat in kWh	44.2					
Einstrahlung ganzer Monat in kWh/m <sup>2</sup>		Gsüd	26.7		Gost	11.3



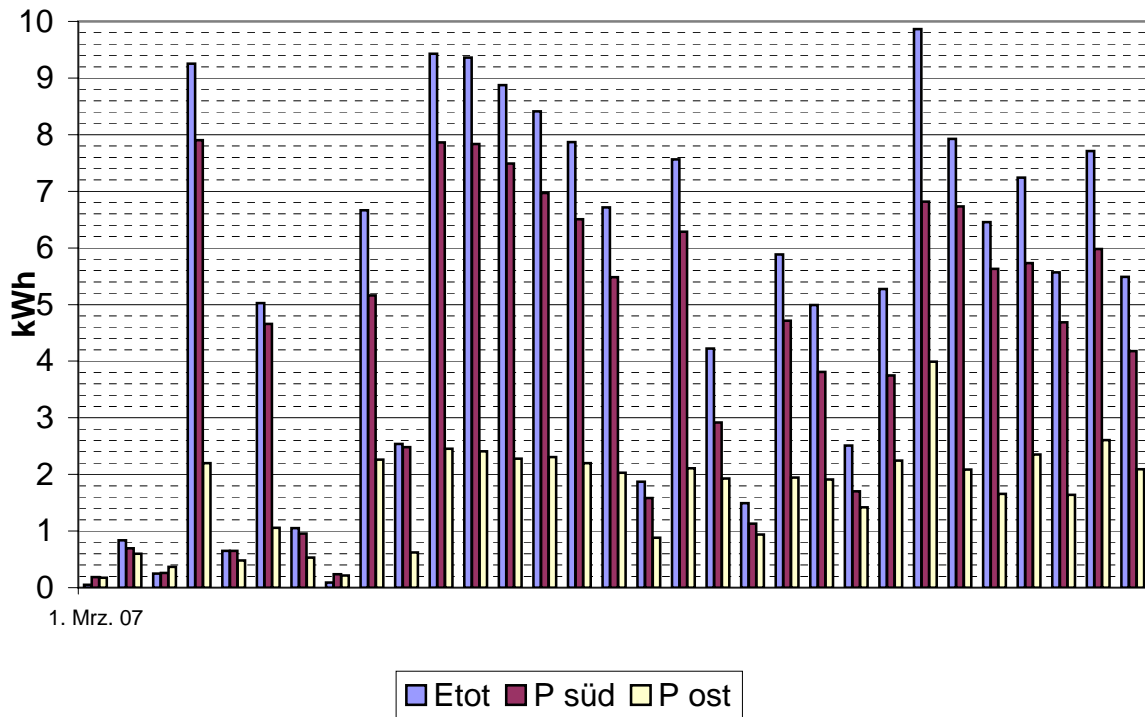
## PVA GWA Wichel Tageswerte Februar 07



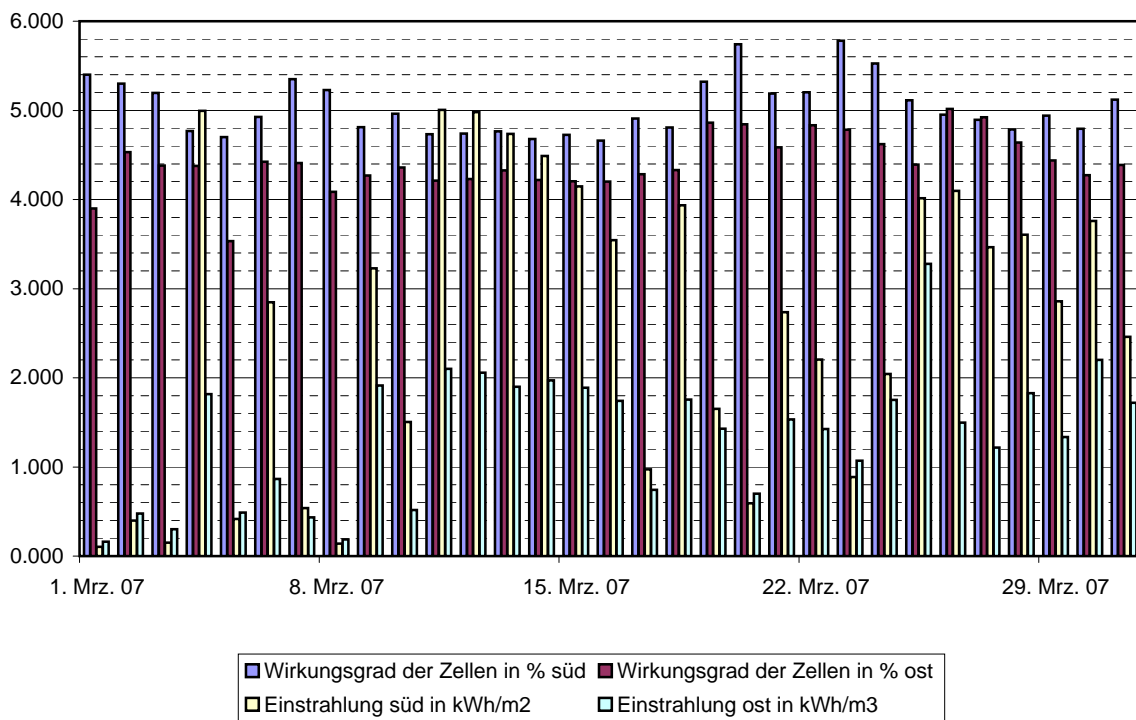
Ertrag DC im ganzen Monat in kWh		Edcsüd	75.3		Edcost	21.9
Gesamtertrag AC im ganzen Monat in kWh	83.1	Gsüd	49.2		Gost	17.8
Einstrahlung ganzer Monat in kWh/m <sup>2</sup>						



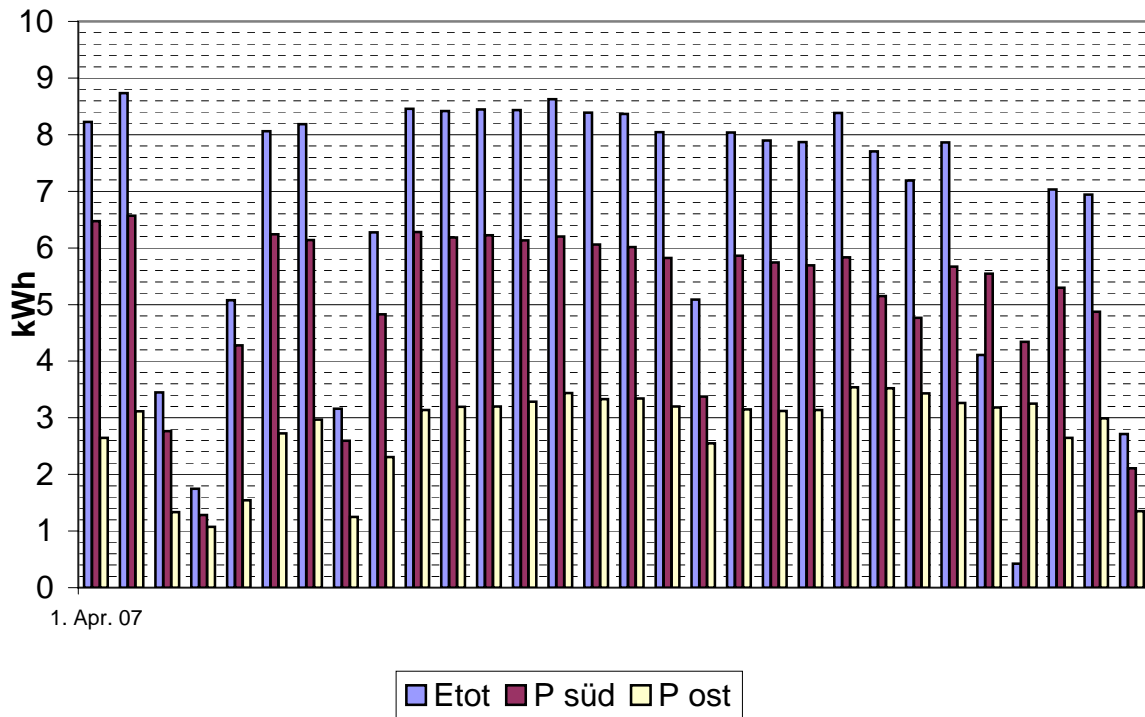
## PVA GWA Wichel Tageswerte März 07



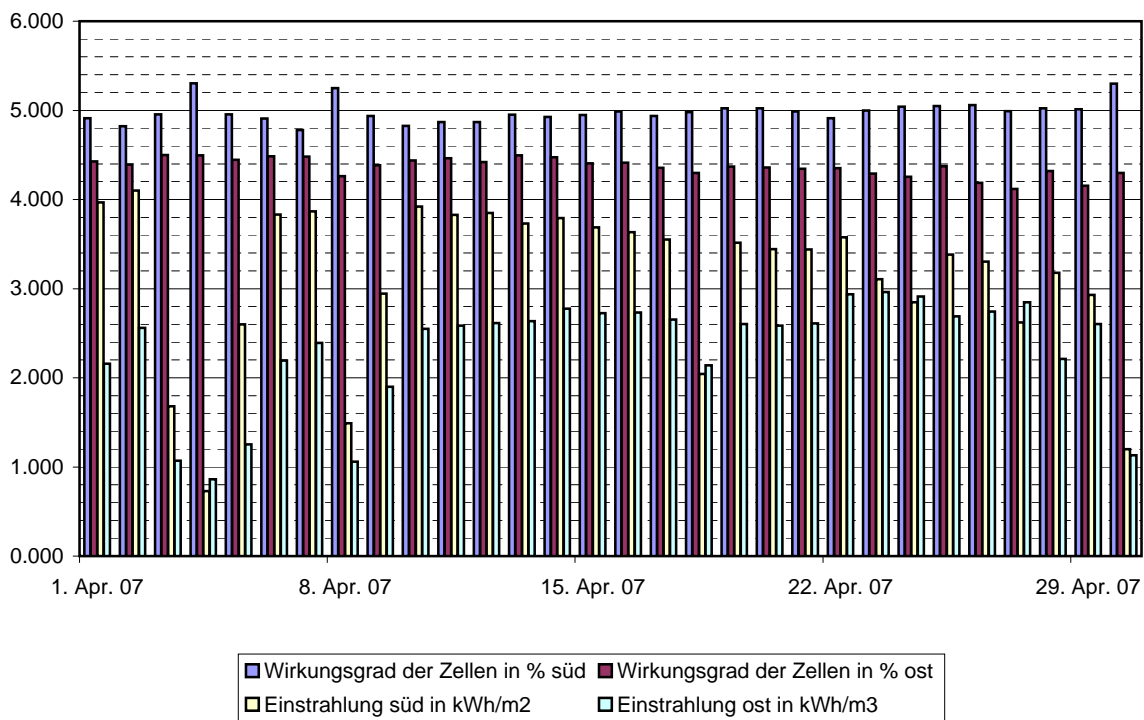
Ertrag DC im ganzen Monat in kWh		Edcsüd	131.0	Edcost	52.0
Gesamtertrag AC im ganzen Monat in kWh	161.1	Gsüd	80.5	Gost	42.3
Einstrahlung ganzer Monat in kWh/m <sup>2</sup>					



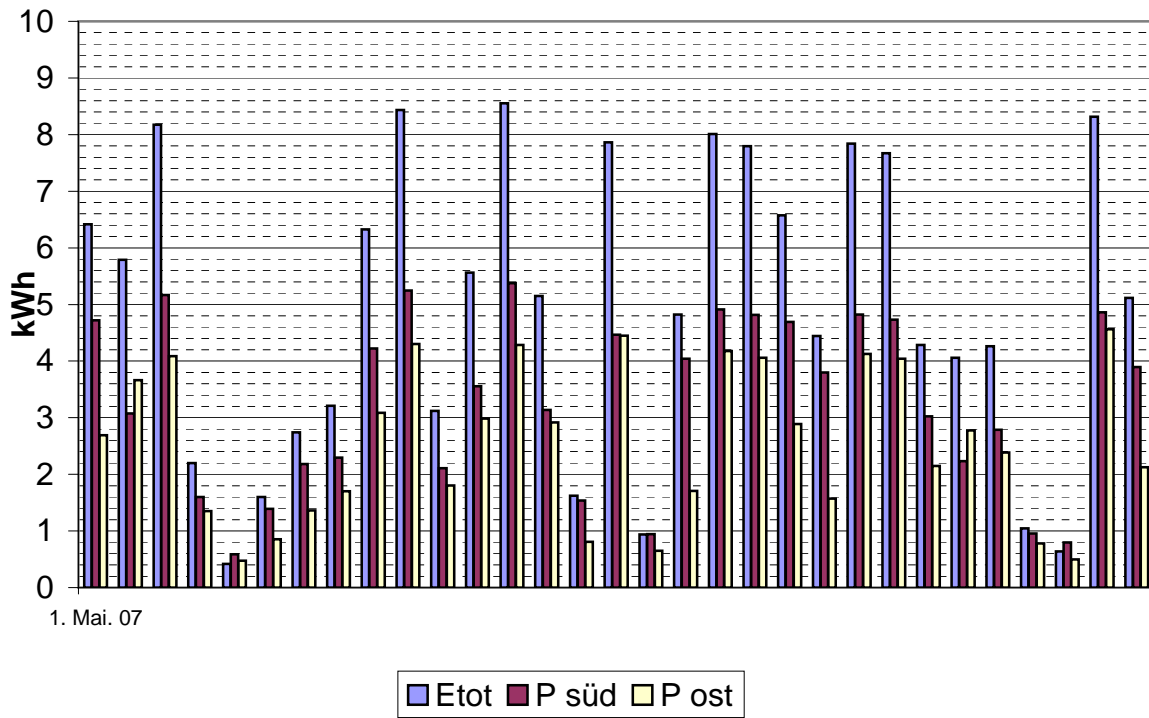
## PVA GWA Wichel Tageswerte April 07



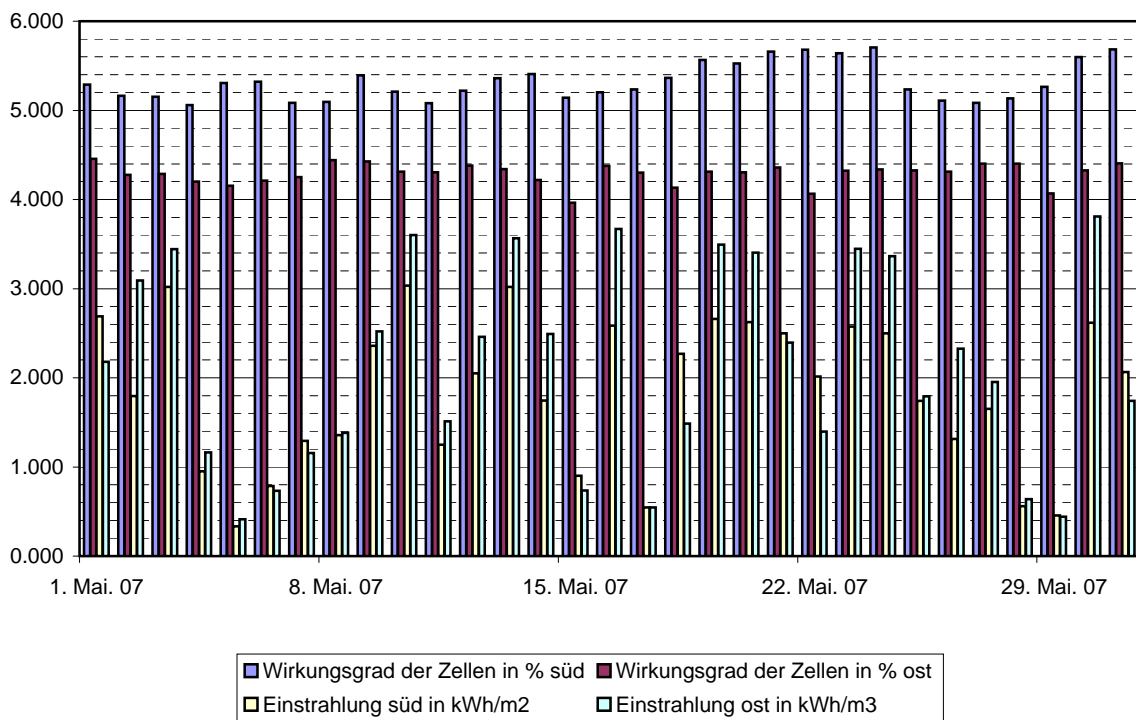
Ertrag DC im ganzen Monat in kWh		Edcsüd	154.4	Edcost	84.2
Gesamtertrag AC im ganzen Monat in kWh	201.3	Gsüd	93.8	Gost	69.7
Einstrahlung ganzer Monat in kWh/m <sup>2</sup>					



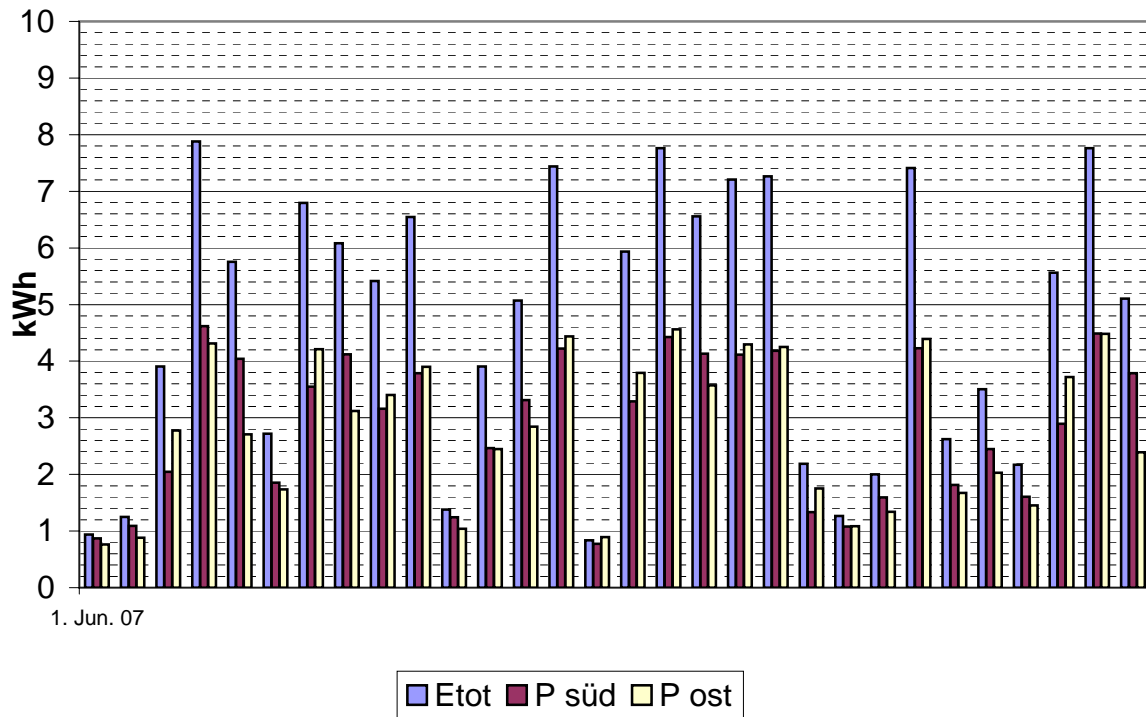
## PVA GWA Wichel Tageswerte Mai 07



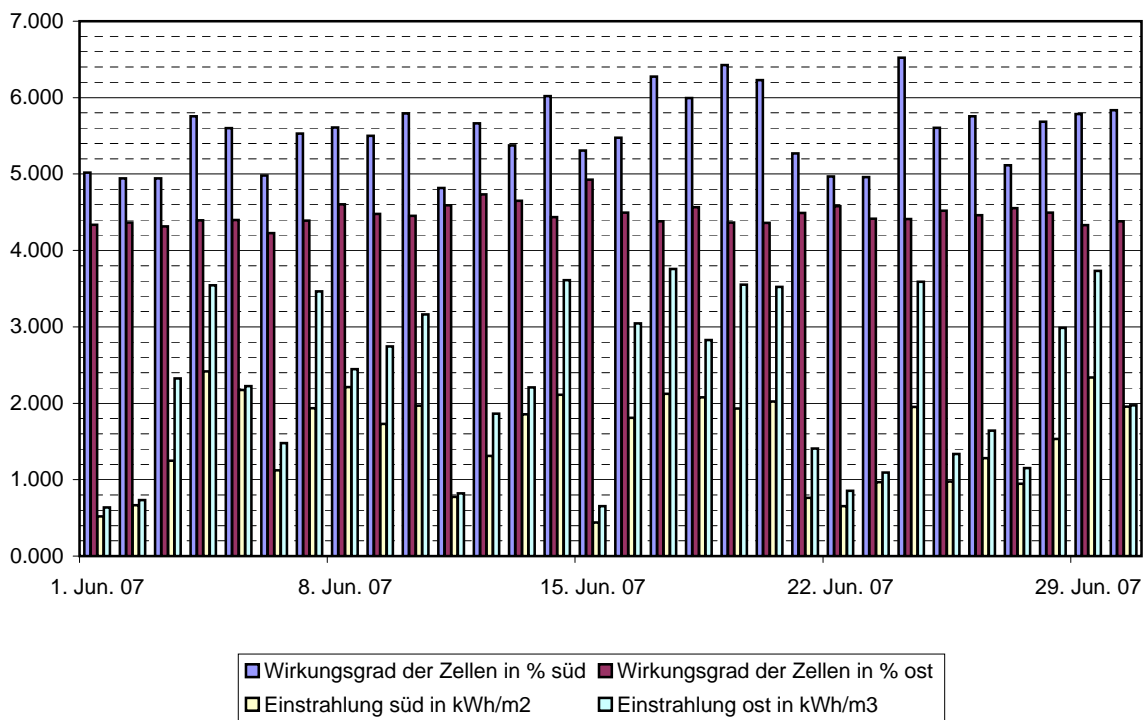
Ertrag DC im ganzen Monat in kWh		Edcsüd	102.0		Edcost	79.3
Gesamtertrag AC im ganzen Monat in kWh	153.0					
Einstrahlung ganzer Monat in kWh/m <sup>2</sup>		Gsüd	57.3		Gost	66.4



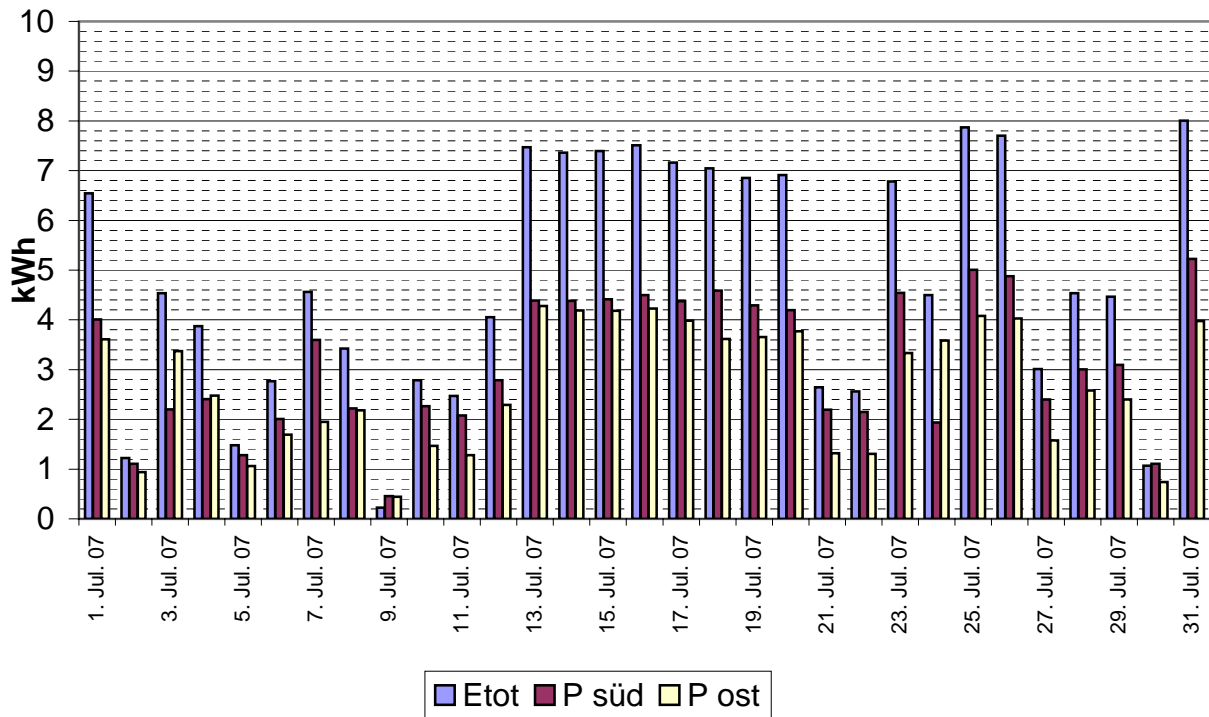
## PVA GWA Wichel Tageswerte Juni 07



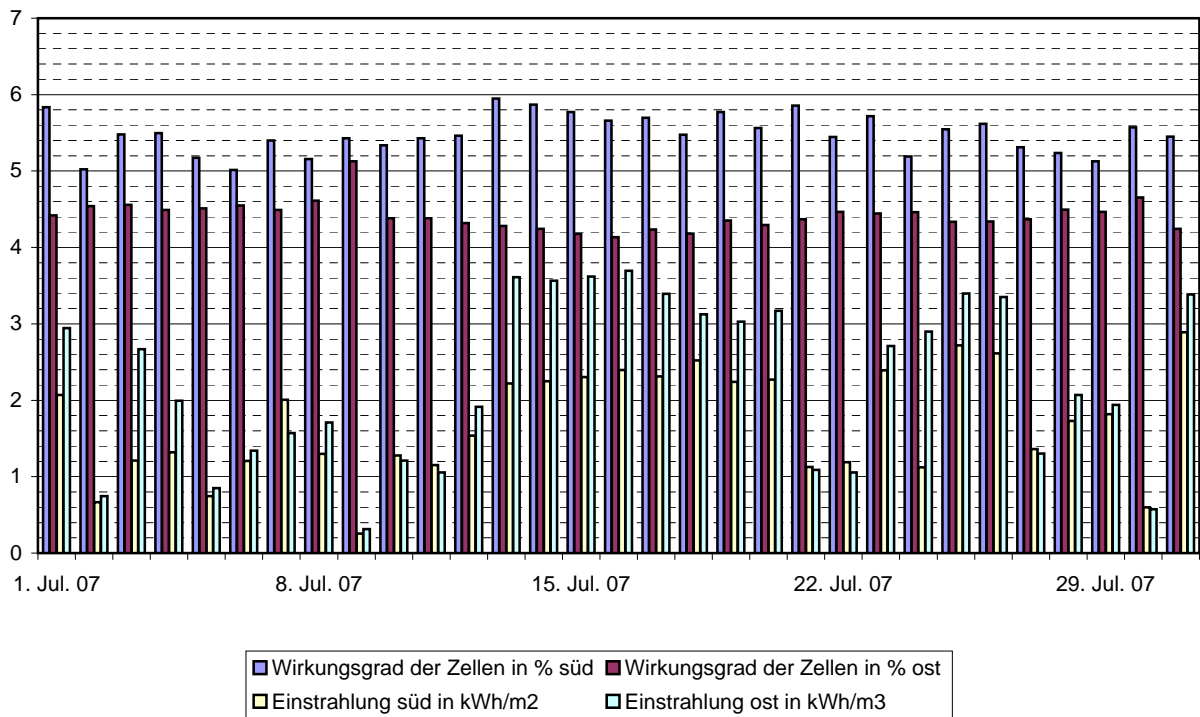
Ertrag DC im ganzen Monat in kWh		Edcsüd	86.6	Edcost	84.3
Gesamtertrag AC im ganzen Monat in kWh	140.2				
Einstrahlung ganzer Monat in kWh/m <sup>2</sup>		Gsüd	45.8	Gost	68.4



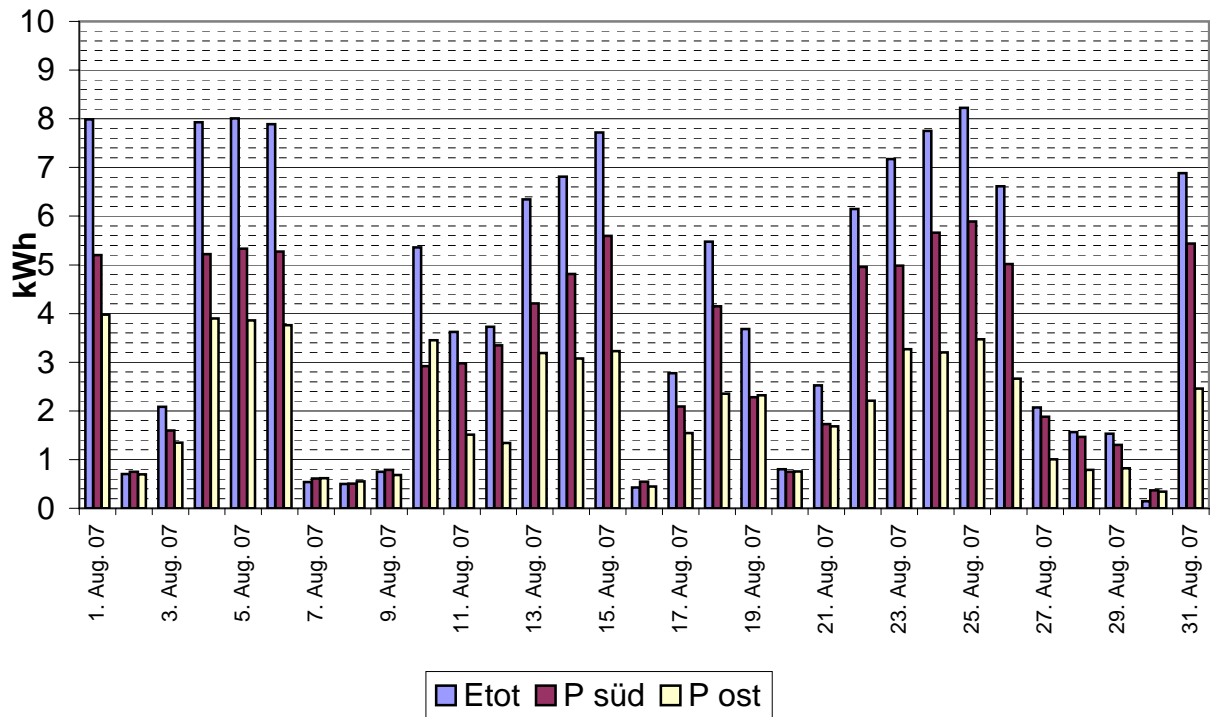
## PVA GWA Wichel Tageswerte Juli 07



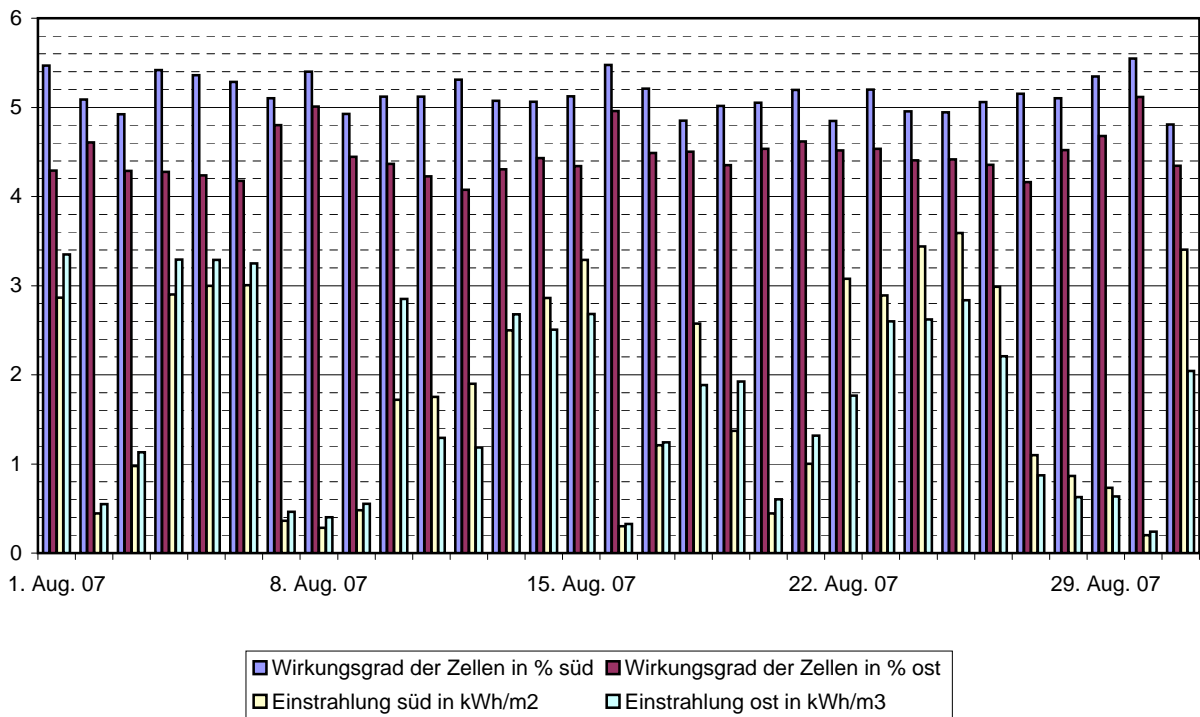
Ertrag DC im ganzen Monat in kWh		Edcsüd	97.1	Edcost	83.6
Gesamtertrag AC im ganzen Monat in kWh	148.8				
Einstrahlung ganzer Monat in kWh/m <sup>2</sup>		Gsüd	52.8	Gost	69.3



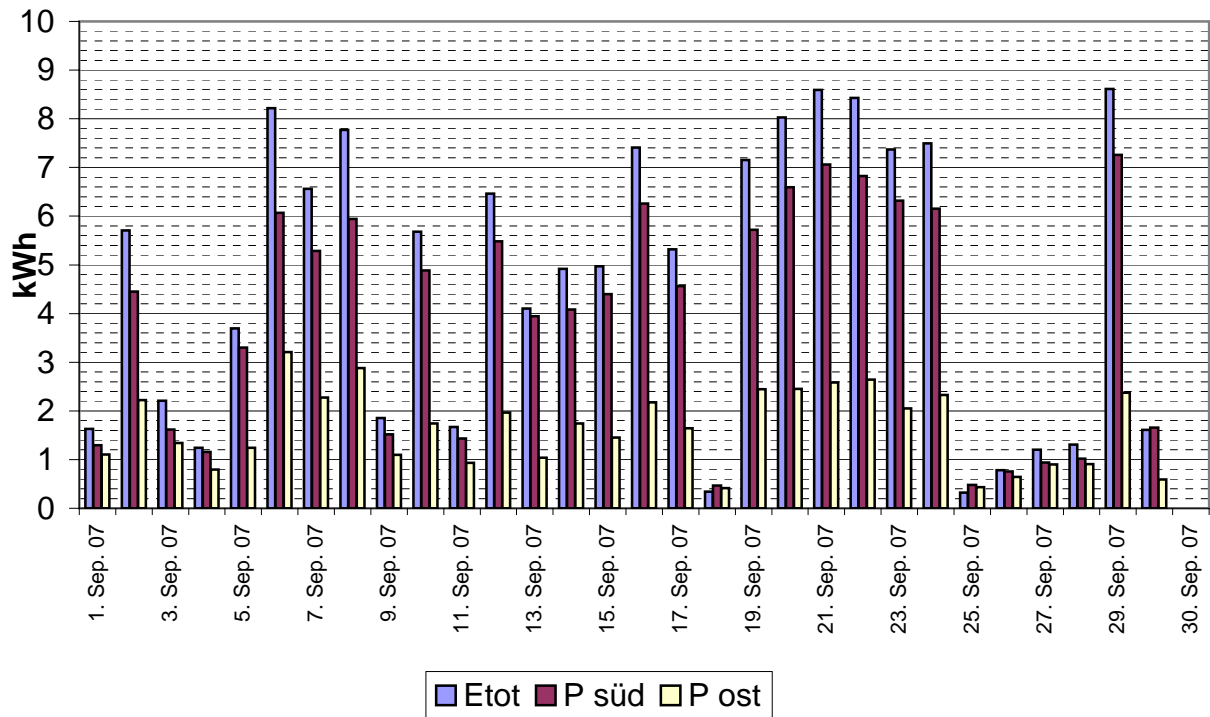
## PVA GWA Wichel Tageswerte August 07



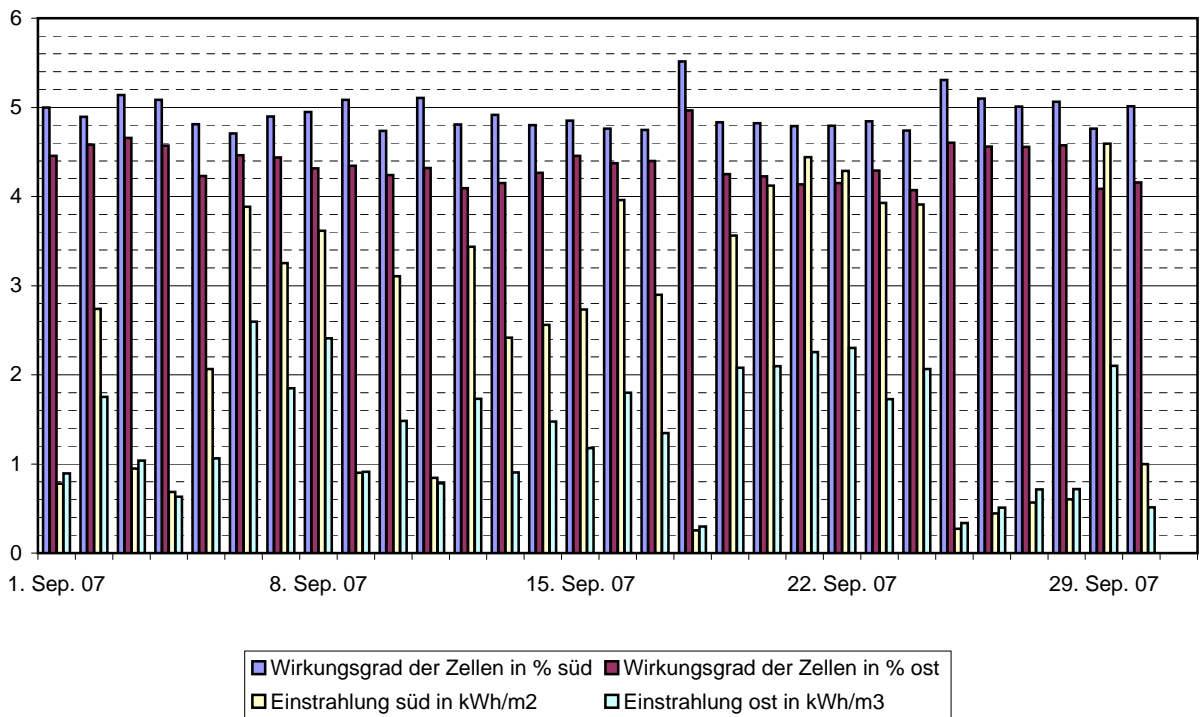
Ertrag DC im ganzen Monat in kWh		Edcsüd	97.7	Edcost	64.5
Gesamtertrag AC im ganzen Monat in kWh	133.8				
Einstrahlung ganzer Monat in kWh/m <sup>2</sup>		Gsüd	57.5	Gost	53.2



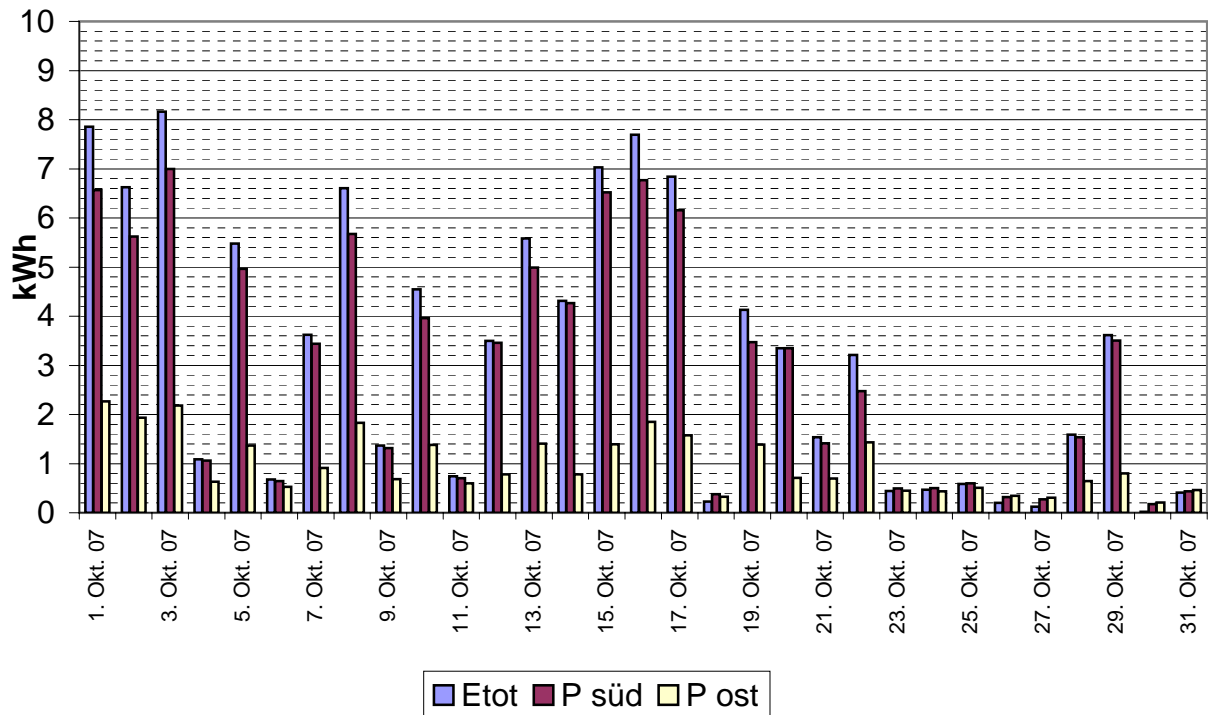
## PVA GWA Wichel Tageswerte September 07



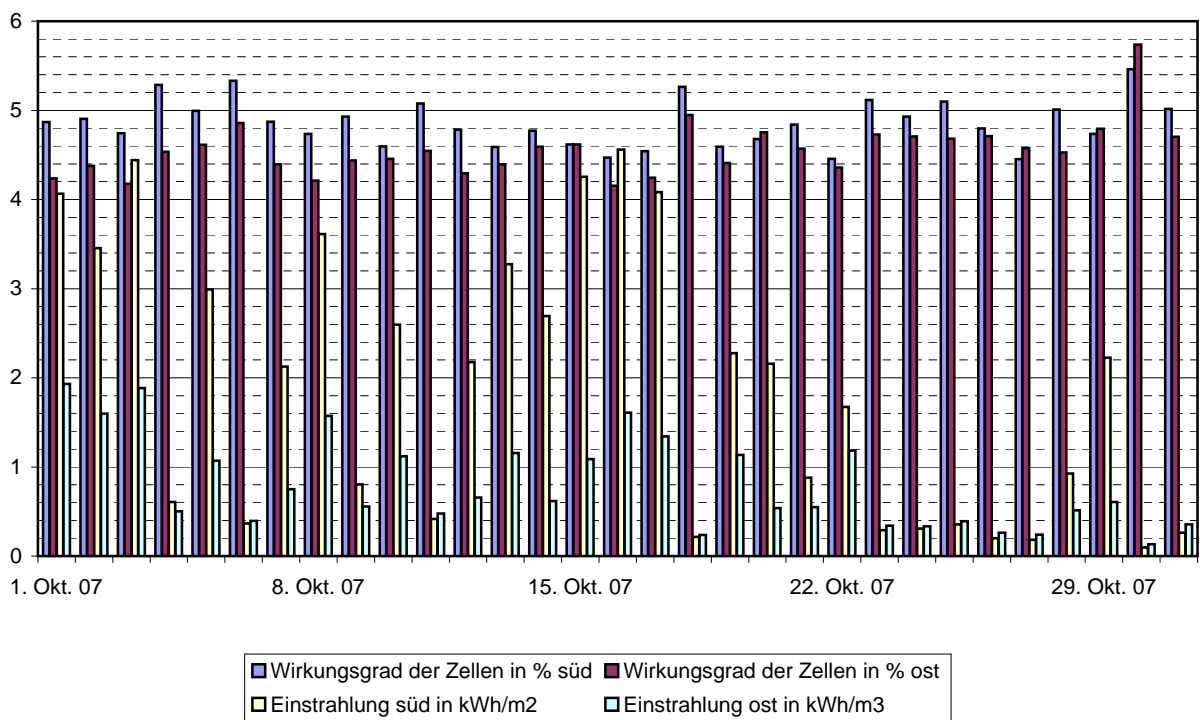
Ertrag DC im ganzen Monat in kWh		Edcsüd	116.9	Edcost	49.7
Gesamtertrag AC im ganzen Monat in kWh	140.7				
Einstrahlung ganzer Monat in kWh/m <sup>2</sup>		Gsüd	72.8	Gost	41.6



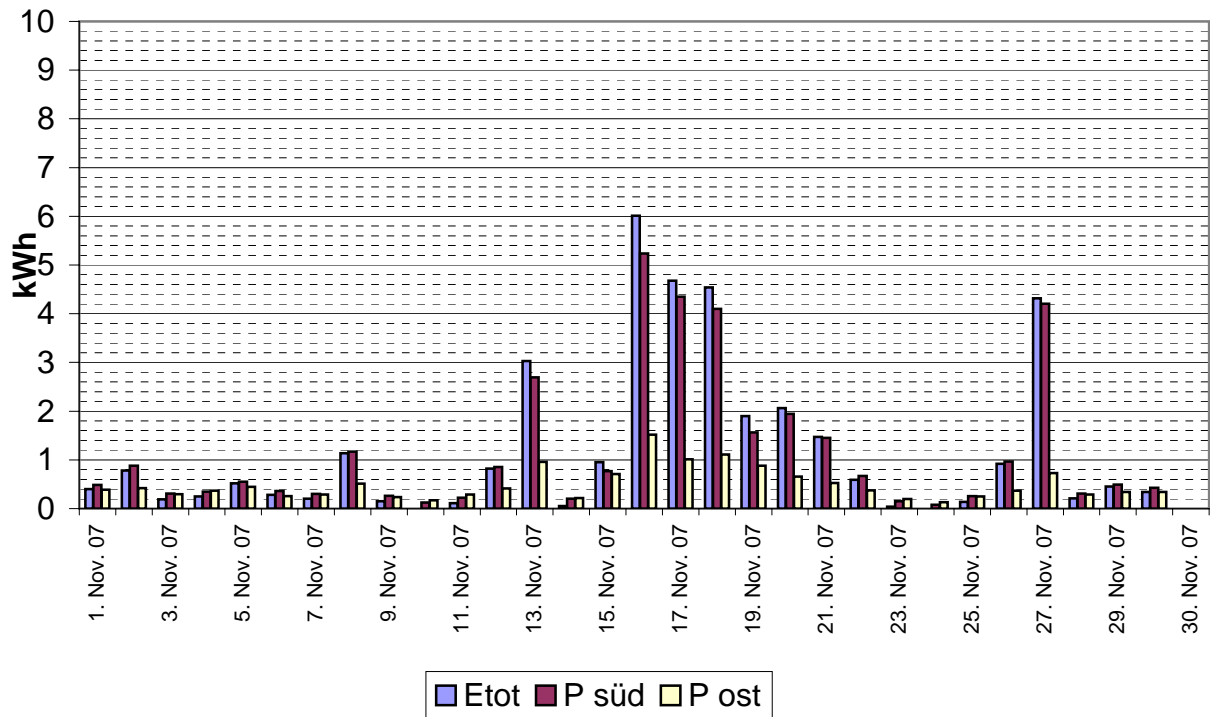
## PVA GWA Wichel Tageswerte Oktober 07



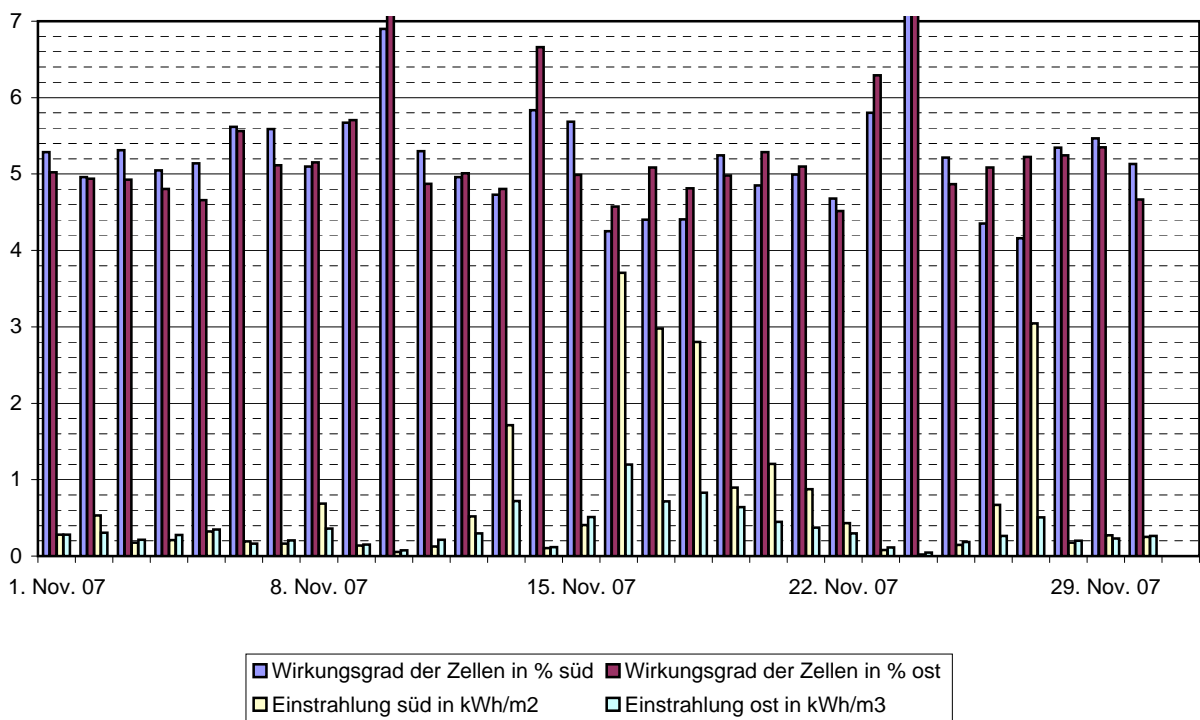
Ertrag DC im ganzen Monat in kWh		Edcsüd	92.0	Edcost	30.8
Gesamtertrag AC im ganzen Monat in kWh	101.6				
Einstrahlung ganzer Monat in kWh/m <sup>2</sup>		Gsüd	58.6	Gost	25.2



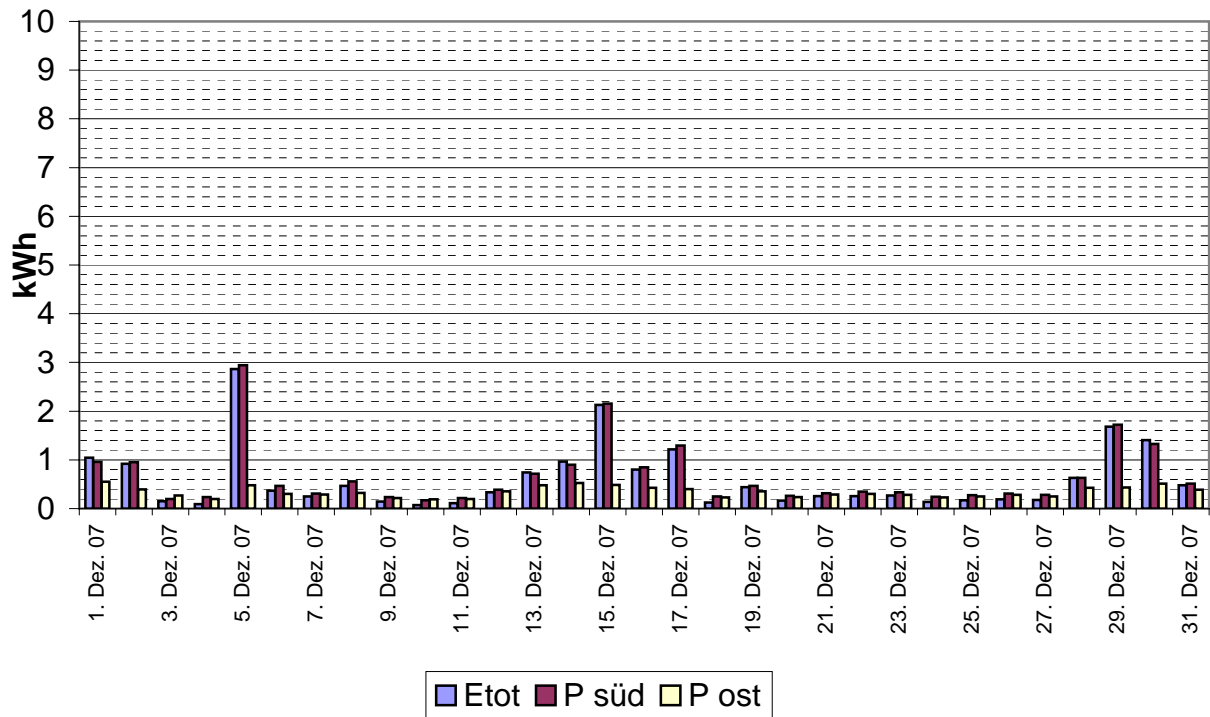
## PVA GWA Wichel Tageswerte November 07



Ertrag DC im ganzen Monat in kWh		Edcsüd	35.7	Edcost	14.7
Gesamtertrag AC im ganzen Monat in kWh	36.6				
Einstrahlung ganzer Monat in kWh/m <sup>2</sup>		Gsüd	23.2	Gost	10.6



## PVA GWA Wichel Tageswerte Dezember 07



Ertrag DC im ganzen Monat in kWh		Edcsüd	20.8	Edcost	10.5
Gesamtertrag AC im ganzen Monat in kWh	19.1				
Einstrahlung ganzer Monat in kWh/m <sup>2</sup>		Gsüd	13.4	Gost	7.2

