

Schlussbericht PV P+D, DIS 47134 / 87254, Februar 2005

Monitoring of the CIS BIPV plant Würth in Choire

ausgearbeitet durch:
Jochen Rasmussen
Katharina Hürlimann

Enecolo AG
Lindhofstr. 52
8617 Mönchaltorf



Inhaltsverzeichnis

Abstract	2
1. Einleitung.....	3
2. Beschreibung der PV-Anlage	4
3. Beschreibung des Projekts.....	5
4. Zeitplan.....	6
5. Projektkonzept.....	7
5.1 Messprogramm	7
5.2 Messapparatur.....	8
5.3 Einfluss PVA auf Gebäude	10
6. Auswertung und Ergebnisse.....	12
6.1 Performance Ratio	12
6.2 Kennwerte.....	14
Temperaturabhängigkeit der Generatorleistung.....	14
Leistung in Abhängigkeit von der Einstrahlung	15
Nennwirkungsgrad des Generators.....	15
Wirkungsgrad bei tiefen Einstrahlungen.....	16
Verhalten Wechselrichter	16
Energy Rating.....	17
6.3 Visuelle Kontrolle	20
6.4 Beschattungseinfluss	20
6.5 Befragung	22
7. Schlussfolgerung.....	23
8. Dank	24
9. Anhang	24

Abstract

In October 2002 an exciting BIPV installation was concluded at the Würth Holding in Chur. The outstanding aspect was the application of new CIS BIPV modules. These were custom made CIS modules, producing energy and reducing the heat gain in the building by shading the skylights of the atrium. The goal was to find a balance between sufficient natural light and low heat load, because of the incoming sunlight.

A combined concept was applied. On half of the skylights fully automated roller blind were installed and on the other half CIS modules. To achieve the semi-transparency, the CIS-disposition of the modules were removed in 1 cm strips, getting a 50% light gain. As each skylight has different dimensions, individual BIPV modules had to be manufactured. In overall were three types of modules manufactured, but all with identical operation voltage. The PV design resulted in PV peak power of 3.7 kW, which is connected to a TopClass 4000/6 inverter and to the building grid.

The PV system was monitored over a period of 2 years. One of the main goals of the project was to get experience and results with the performance of the custom-made CIS modules. Further we attempted to analyse the influence of the BIPV shading device to the building energy performance. In an other activity we interviewed working staff concerning their impression towards aesthetics, impression of the semi-transparency and the application (shading device) of the BIPV installation.

Since commissioning of the installation the system operates reliable and no breakdowns were noticed. The monitoring equipment features a datalogger with several inputs and a modem connection for downloading the data. All sensors and datalogger were installed mid of November 2002. November/December 2002 were used to adjust the data and the sensors to secure a safe operation for the 2 years monitoring. The project was delayed due to the later installation. The monitoring started 1st of December and provided extensive data for this final report. Actual monthly energy yield was compared to estimated values based on solar irradiation. Results shows, that the PV system operates as expected and in summer time even better.

The performance matrix of the system in dependency of temperature and irradiance was derived from the TISO analysis methods for outdoor measurements. Calculations show for the CIS Plant a power value of 3362 Watt under STC. The analysis of outdoor measured values at standard test conditions (STC) has shown an average module efficiency of 8.5 %, increasing 1% over two years compared to the specifications from the manufacturer. This can be related to a similar effect like a-Si modules, so-called annealing of the physical combinations. Module performance under lower irradiance shows a high energy yield.

On several occasions we interviewed staff of Würth Holding. Reaction of respondent persons were positive, although few persons did actually really noticed the semi-transparent PV modules overhead.

In a final analysis we tried to determine the shading effect of the semi-transparency module to the building energy performance. Rule of thumb shows no large impact to the building energy performance.

Thanks to a very engaged co-operation and good participation of all parties the project could be successfully finished.

1. Einleitung

Bei der Würth Holding in Chur wurde im Herbst 2002 eine PV-Anlage integriert. Diese dient zur Beschattung des Atriums und zur Energieproduktion. Um den Einfall von Sonnenlicht im Gebäude in den Sommermonaten zu begrenzen, mussten die Oberlichter abwechselnd mit einer motorischen Storenanlage und einer teiltransparenten PV-Anlage belegt werden. Diese reduziert zusätzliche Kühllasten und ermöglicht zudem eine innovative Technologie (CIS) einzusetzen und auszutesten. Andererseits ist es auch notwendig genügend Tageslicht in das Atrium hereinzulassen um auf das Kunstlicht während der Tageszeit verzichten zu können. Die Firma TransSolar-Deutschland erarbeitete ein Konzept, wie beide Gesichtspunkte vereint werden konnten.



Abb. 1: Blick aus dem Atrium



Abb. 2: Blick über das Dach

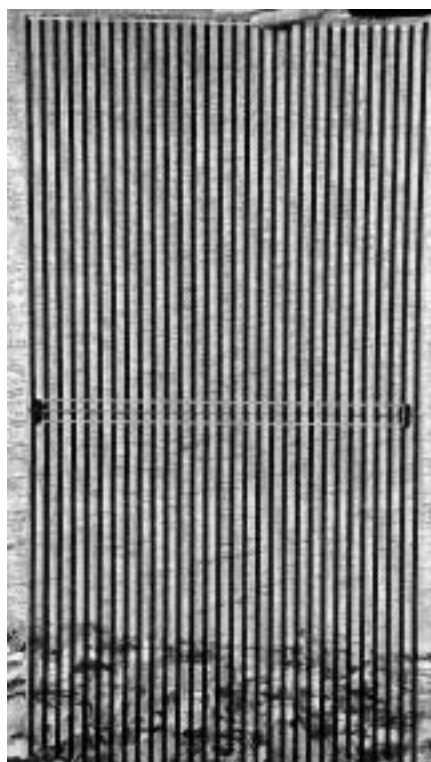


Abb. 3: CIS Moduls

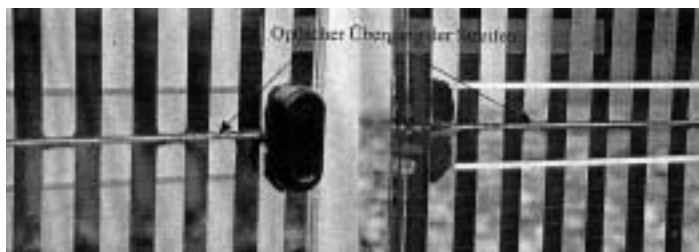


Abb. 4: Ansicht der Rückseite mit Detail Junction-Box

Die verwendeten Spezialmodule von Würth Solar sind einzigartig und kombinieren drei interessante Ansätze. Zum einen die CIS Technologie, dann die Teiltransparenz zur Erhöhung der Tageslichtnutzung im Atrium und zum Dritten sind die Spezialmodule in drei unterschiedlichen Grössen hergestellt worden. Es gilt jetzt die Spezialmodule genau zu untersuchen und die Performance der Anlage zu überwachen.

2. Beschreibung der PV-Anlage

Die Module wurden auf insgesamt 10 Oberlichter montiert. Jede Oberlichtreihe besteht abwechselnd aus 2 Storenanlagen und PV-Beschattungselementen (jeweils 3 bis 3.7m breit).



Abb. 5: Oberlichterreihe noch ohne PV

Durch die Anordnung ergibt sich für die Gesamtanlage ein Schachbrettmuster. Der Grundriss des Atriums ist trapezförmig, darum sind die einzelnen PV-Flächen nicht identisch in der Breite. Dieses Problem wurde dadurch gelöst, dass die Breite der Karos von ca. 3 bis 3.7m mit Sondermodulen der Breite 15, 30, 45 und 60 cm belegt wurden. Zudem gibt es für die unterschiedlichen Breiten der PV-Beschattungselemente 3 unterschiedliche Baulängen (998, 1550 und 1650 mm), um die diversen Oberlichtlängen zu bedienen.



Abb. 6: Dachansicht mit Schachbrettmuster

Gemäss Berechnung resultiert eine PV-Leistung von 3.76 kWp. Die Spezialmodule (CIS Technologie, Streifenbreite von 1 cm, Isolierglas und verschiedenen Dimensionen) wurden alle auf die gleiche Arbeitsspannung ausgelegt. Die Parallelverschaltung wurde über T-Stücke und in 2 Klemmenkästen auf dem Dach realisiert. Eine DC-Sammelleitung wurde über die Kabeleinführung in die darunterliegende Unterverteilung zum Wechselrichter geführt. Die Einspeisung erfolgt auf die gezählte Seite der Würth GmbH. Im gleichen Raum sind auch alle Messgeräte platziert.

3. Beschreibung des Projekts

Die verwendeten Spezialmodule von Würth Solar sind einzigartig und kombinieren zwei interessante Ansätze. Zum einen die CIS Technologie, von welcher noch nicht sehr viele Erfahrungen vorhanden sind. Zum anderen die CIS- Beschichtung, welche unterbrochen wird zur Erhöhung der Tageslichtnutzung im Atrium. Es gilt jetzt die Technologie genau zu untersuchen und die Performance der Anlage zu überwachen. Im Projekt wurde eine Untersuchung aller zu erwartenden Resultate über einen Zeitraum von 2 Jahren geplant.

Um die mechanischen Veränderungen korrekt aufzunehmen, wurde nach der Installation die Anlage und einzelne Module genau dokumentiert und bildlich festgehalten. Allfällige Mängel wurden notiert. Die Anlage wurde halbjährlich besucht und alle Module auf Veränderungen untersucht. Gleichzeitig wurden die Angestellten über den Einfluss der CIS-Elemente als Beschattung befragt. Dies soll Aufschluss geben, ob die Tageslichtnutzung genügen ist oder doch häufig Kunstlicht eingesetzt werden muss.

Die elektrischen Werte wurden in einem Datenlogger abgespeichert und konnten jederzeit per Modem über die Telefonleitung abgerufen werden. Wie aus dem Kapitel 5 ersichtlich ist, wurden verschiedene Sensoren an der Anlage installiert. Alle Datensignale wurden anschliessend ausgewertet und resultieren in Angaben betreffend der Energieproduktion eines CIS-Spezialmoduls sowie der gesamten PVA. Die Module wurden zu Beginn bei der Firma Würth Solar bei STC gemessen.

Das Besucherverhalten wurde in den Punkten Erscheinung, Akzeptanz und Wertung durch Umfragen versucht zu evaluieren. Hier waren wir auf die subjektive Meinung der Angestellten angewiesen.

Den Einfluss der PVA als Beschattungselement auf das Atrium wurde, wie erwähnt über die Zusammenarbeit mit der Haustechnik und aus Umfragen versucht zu beschreiben.

4. Zeitplan

Zum Zeitpunkt der Projekteingabe beim Bundesamt für Energie wurde der Projektstart auf den 1. Oktober 2002 festgelegt. Das Projekt sollte am 30. November 2004 abgeschlossen sein.

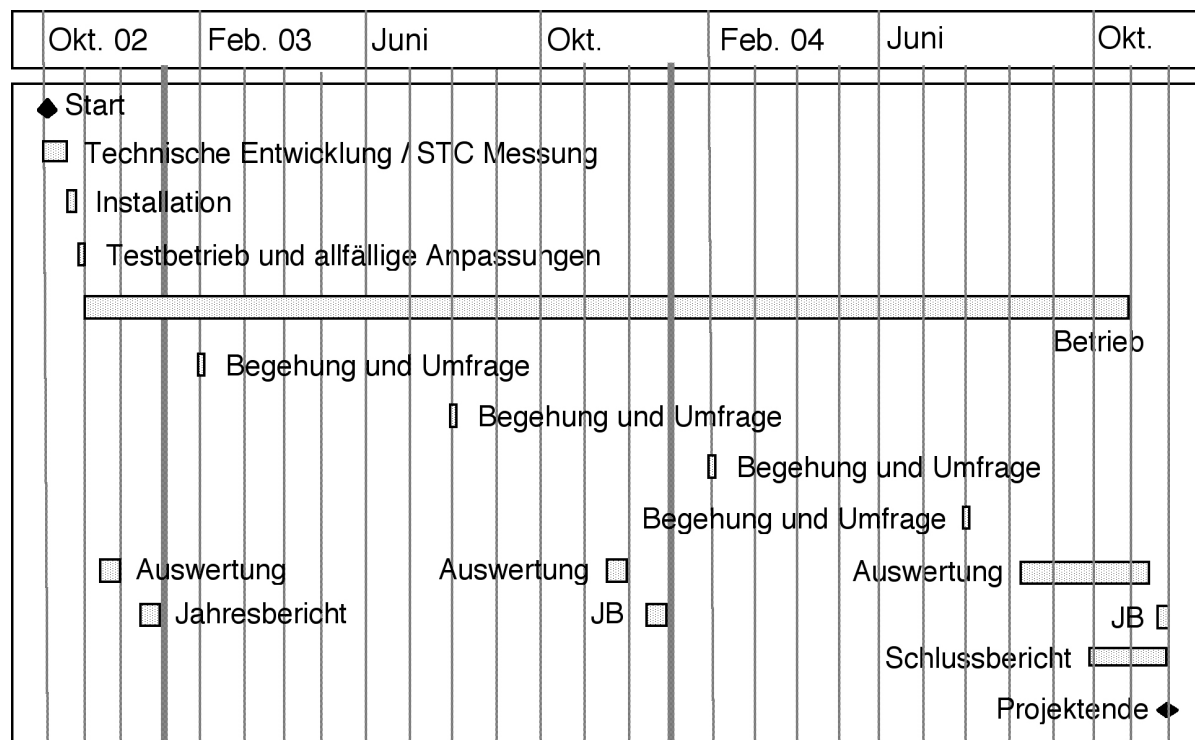


Abb. 7: Terminplan bei Projekteingabe

Das Projekt wurde am 1. Oktober 2002 offiziell gestartet. Die Installation der PV-Anlage erfolgte Mitte Oktober und wurde nach rund 4 Arbeitstagen abgeschlossen. In den nachfolgenden 4 Wochen wurde das Messkonzept sauber aufgestellt und ein neuer Typ von Datenlogger mit Programm evaluiert. Verschiedene elektronische Anpassungsarbeiten waren notwendig und gestalteten sich zeitintensiver als geplant. Die Installation der Sensoren und der Messeinrichtung erfolgte dann am 18. November 2002. Die beiden letzten Wochen im November wurden für den Testbetrieb der Messeinrichtung, plus allfällige Anpassungen genutzt. Gemäss Zeitplan sollte die Messeinrichtung bereits vom 1.11.2002 an in Betrieb sein. Hier hat sich infolge terminliche Verzögerungen bei der Anlageninstallation der Messbeginn um rund 1 Monat verschoben. Die Daten werden ab dem 1. Dezember 2002 gesammelt.

5. Projektkonzept

Im Projekt wurde eine Untersuchung aller zu erwartenden Resultate über einen Zeitraum von 2 Jahren angestrebt. Es galt möglichst viele Erfahrungen und Resultate mit der neuen Technologie zu erarbeiten, aber es sollte auch das Verhalten der BIPV-Anlage im Gesamtkontext des Gebäudes berücksichtigt werden. Das Projektteam teilt das P&D-Projekt darum in zwei Teile auf. Teil 1 beinhaltet die effektive Untersuchung der Messwerte von der Anlage und den CIS-Modulen und Teil 2 versucht den Einfluss der PVA auf das Gebäude zu evaluieren.

5.1 Messprogramm

Im Teil 1 ‚Messprogramm‘ wurden die notwendigen Sensoren, wie Pyranometer, Energiezähler und Temperatursensoren bei der Anlage und den Modulen eingebaut. Die Werte wurden alle 15 Minuten in einem Datenlogger gespeichert und konnten über die Telefonleitung jeder Zeit abgerufen werden. Der Energieertrag der PV-Anlage wird über den E-Zähler bei der Einspeisung kontrolliert. Alle Pyranometer Werte werden mit den aktuellen SMA-Daten von Chur verglichen.

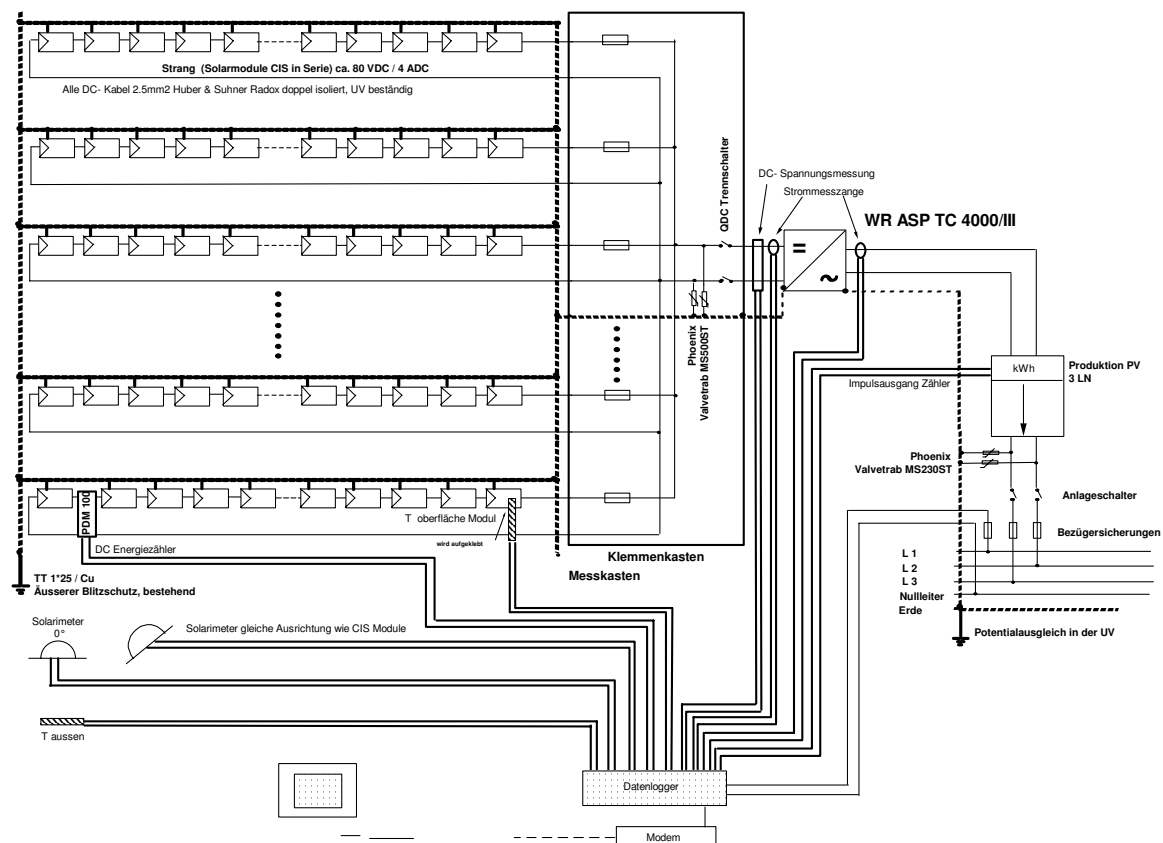


Abb. 8: Messkonzept graphisch dargestellt

Folgende Messwerte wurden auf den Datenlogger geführt:

- Energieimpuls eines Modules (DC Energiezähler PDM 100)
- Energieimpuls der gesamten Anlage
- Aussentemperatur / Moduloberflächentemperatur
- Solarimeter auf Moduloberfläche geneigt / Solarimeter in der Horizontalen
- DC- Eingangsspannung / DC- Eingangsstrom
- AC- Ausgangsstrom

Die letzten drei Messsignale wurden analysiert um den Einfluss des Wechselrichters (WR) genau bestimmen zu können. Die MPP-Eingangsspannung der Module ist beim unteren Grenzwert des WR ausgelegt. Gemäss den Erfahrungen von Enecolo AG ist der untere Grenzwert beim ASP TC höher als im Datenblatt angegeben. Darum wurde mit diesen Messwerten der Einfluss (Nichtbetrieb) des WR genau aufgenommen um ihm die Auswertung des Energieertrages der CIS-Module zu berücksichtigen.

Die aufgenommenen Messwerte konnten jederzeit über eine Modemverbindung ausgelesen werden. Die Daten wurden in Excel aufbereitet und in lesbare Informationen, Tabellen und Graphiken umgewandelt. Die Auswertung erfolgte jeweils nach den Begehungen und den Umfragen.

5.2 Messapparatur

Seit Installation der Messeinrichtung im November 2002 steht die Anlage unter Kontrolle. Bei Betriebsausfall wird eine SMS abgesetzt, die fast zeitgleich im Büro der Enecolo AG eingeht. Der Hauptteil der Messeinrichtung gilt allerdings der Aufnahme und Speicherung sämtlicher betriebsrelevanter Daten. Untenstehend sehen sie die Dachaufsicht mit den Standorten der auf dem Dach befindlichen Messapparaturen.

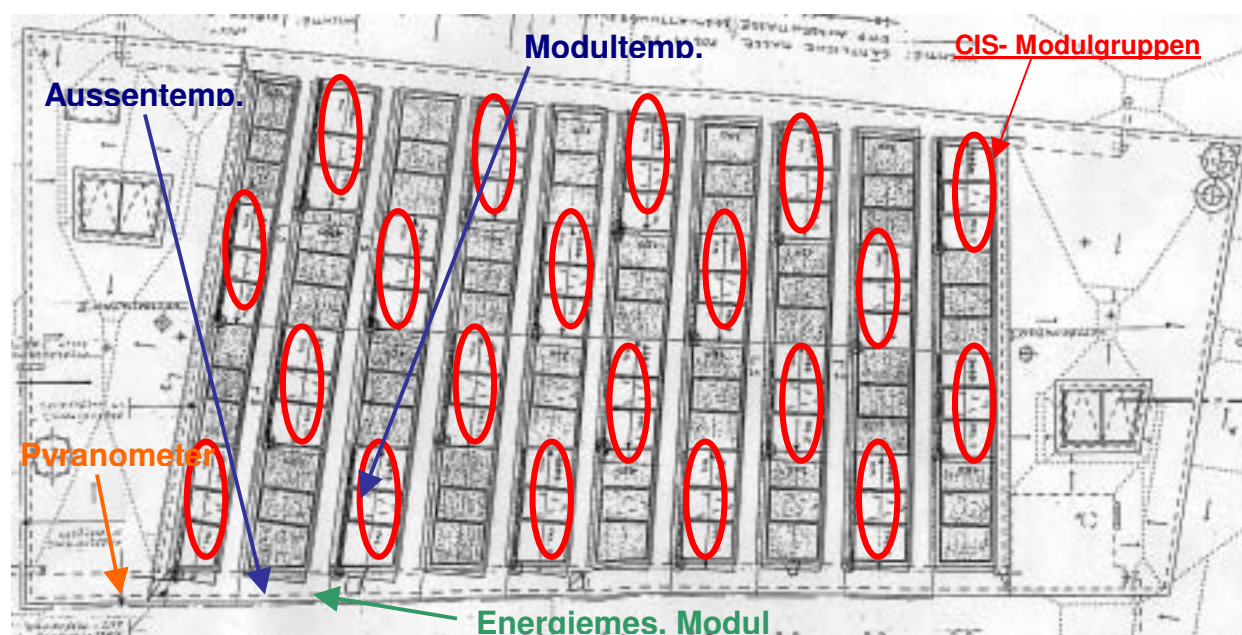


Abb. 9: Dachaufsicht mit Kennzeichnung der Modulgruppen und Messaufnehmer



Abb. 10: Globalstrahlungsmessung



Abb. 11: Aktiv- Modultemperaturfühler



Abb. 12: AC-Klemmekasten

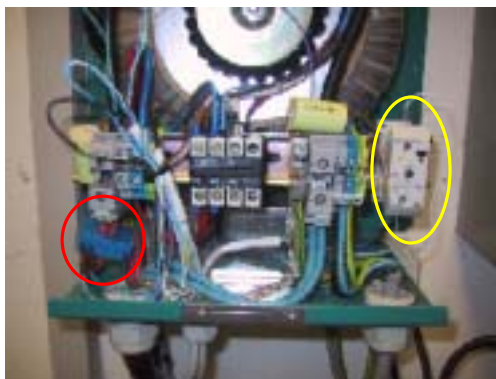


Abb. 13: DC- und AC-Strommessung im Wechselrichter

Die Globalstrahlung wird in einem Winkel von 0 und 15° (Siehe Abb. 10) direkt an der Anlage gemessen. Die Modultemperatur wird durch einen Aktiv-Fühler erfasst, der mit einem temperaturleitenden Kleber von unten an das Laminat geklebt wurde.

Der Aussentemperaturfühler befindet sich in einem entsprechenden Gehäuse am AC-Kabelkanal, vor dem hinteren DC-Klemmenkasten. Die Energiemessung für ein einzelnes Modul erfolgt über einen DC-Energiezähler, der sich mit dem Shunt in einem eigenen Gehäuse befindet, das im hinteren Klemmenkasten (Abb. 12) abgelegt ist

Die DC-Spannungsmessung erfolgt an den DC-Klemmen im Wechselrichter. Der DC-Strom wird durch einen DC-Wandler (Abb.13, rot) mit Hallsonde vor den DC-Klemmen gemessen.

AC-seitig wird der Strom nach den AC-Klemmen im Wechselrichter über einen entsprechenden Wandler (Abb.13, gelb) gemessen.

Die produzierte Energie der Anlage wird über die Einzelmesswerte von Strom und Spannung berechnet. Zusätzlich wird der Zählerimpuls des Energiezählers in der Unterverteilung abgetastet. Vergleiche haben ergeben, dass zwischen der errechneten Energieproduktion über AC-Strom und Spannungsmessung, und dem Energiezählerwert keine nennenswerte Abweichung entsteht – somit kein Messfehler vorliegt.

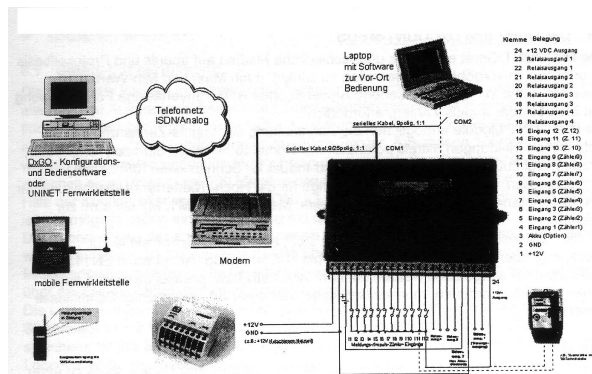


Abb. 14: Datenlogger

Die Messeinrichtung wurde ab dem 1. Oktober 2002 entwickelt. Es galt zuerst einen passenden und kostengünstigen Datenlogger mit praktischem Anwenderprogramm zu finden. Die Wochen im November wurden genutzt, um das Programm korrekt kennenzulernen und alle Einstellungen zu programmieren. In einem nächsten Schritt wurde die Messeinrichtung in einen Wandkasten eingebaut und am 18. November 2002 komplett mit den Sensoren installiert.



Abb. 15: Parametrierung des Loggers im Technikraum

Die Installation verlief ohne Probleme, nur die Programmierung musste noch angepasst werden. Seit Anfangs Dezember kann auf die Messwerte der Anlage und der Sensoren zugegriffen werden.

Seit dem wurden die Messdaten im 15 Minutentakt als Mittelwert im Datenlogger abgespeichert. Über eine Modemverbindung wurde das Datenfile monatlich heruntergeladen. Die Daten wurden anschliessend in Excel importiert, aufbereitet und ausgewertet.

5.3 Einfluss PVA auf Gebäude

Den Einfluss der PVA auf das Gebäudeverhalten auszuwerten wurde nicht über vorhandene Messwerte realisiert. Nach Rücksprache mit dem zuständigen Planer, Herr T. Maissen, Bühler & Scherler AG für das Gebäudeleitsystem sind keine Berechnungen für das Atrium ohne PV kalkuliert worden. Es sind auch keine Sensoren in guter Position montiert worden - alle Temperaturfühler befinden sich in den Aussenzonen (Büros). Aus diesem Grunde ist es nicht möglich anhand gemessenen Werten und Berechnungen direkt auf die Energiereduktion im Atrium zu resultieren.

Durch Zusammenarbeit mit der Haustechnik und aus Umfragen wird versucht den Einfluss der PVA zu beschreiben. Zum einen kann die Tageslichtnutzung und der Einsatz von Kunstlicht subjektiv durch die Angestellten beurteilt werden. Zum andern kann über die Haustechnik die Kühlleistung kalkuliert werden, welche dann

prozentuell (gemäss Volumen) auf die jeweiligen Gebäudeanteile umgerechnet werden kann. Dies ist sicher eine grobe Berechnung wird aber interessante Resultate zeigen.

Das Besucherverhalten wird in den Punkten Erscheinung, Akzeptanz und Wertung durch Umfragen versucht zu evaluieren. Hier sind wir auf die subjektive Meinung der verschiedenen Besucher angewiesen.

Es werden folgende Resultate aus der 2- jährigen Untersuchungsphase erwartet:

- Mechanische Veränderung bei den Modulen (Degradation, Verfärbungen, Ausfälle)
- Energetische Werte von einem einzelnen CIS Spezialmodul und auch der Gesamtanlage in Abhängigkeit der Temperatur und Einstrahlung
- Moduldegradation für die CIS- Technologie
- Einfluss der PV- Anlage als Beschattungselement für das Atrium (Tageslichtnutzung genügend? Werden die geplanten Vorgaben betreffend Energiereduktion im Gebäude erreicht)
- Besucherverhalten (Erscheinung, Akzeptanz, Wertung bei Architekten)

6. Auswertung und Ergebnisse

Seit Installation der Messeinrichtung Ende November 2002 steht die Anlage unter Kontrolle. Alle Messwerte werden im Zeittakt aufgezeichnet. Monatlich erfolgt die Übertragung der Messwerte über die Modemverbindung auf den Bürorechner. Bei auftretender Störung wird eine SMS abgesetzt, die verantwortliche Stellen informiert. Untenstehend eine Übersicht über die erfassten Parameter. Auf der Grundlage dieser Daten finden die weiteren Auswertungen statt.

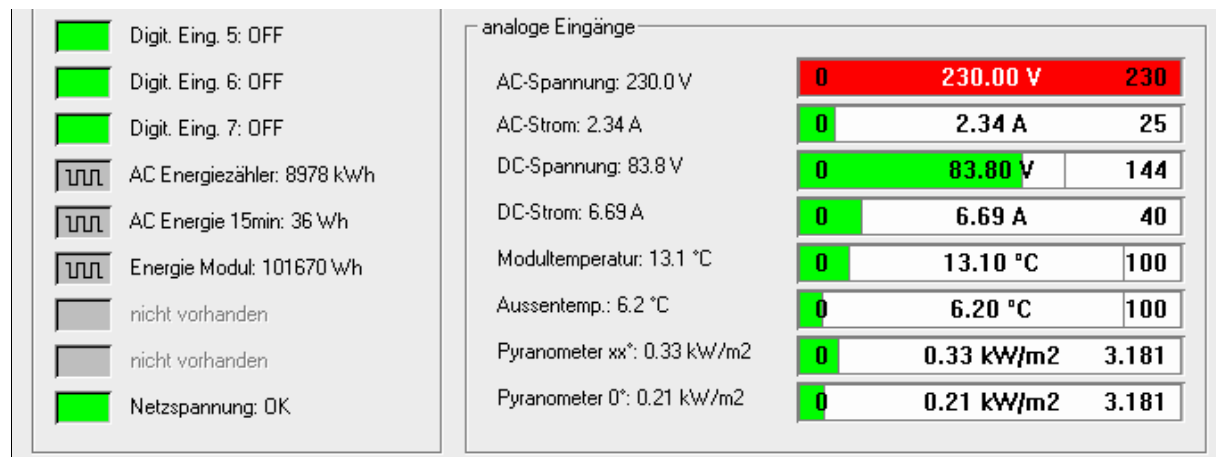





Abb. 16: Momentaufnahme der Messparameter am 7. Dezember 2004, 14 Uhr 34

6.1 Performance Ratio




Die monatliche Ertragskontrolle wurde über die Performance Ratio durchgeführt (siehe Abb. 17). Dabei wurde der Anlagenertrag auf die Globalstrahlung der geeigneten Fläche und die Nominalleistung bezogen. Abgesehen von Temperatureinflüssen lag die Performance Ratio in den Sommermonaten bei 0.90. Schnee auf der Anlage verfälschte die Auswertung der Monate Dezember bis Februar. Als Referenz zur gemessenen Globalstrahlung an der Anlage wird die Messung der MeteoSchweiz-Wetterstation Chur herangezogen. Liegt Schnee auf der Anlage, äussert sich das nicht nur im Ertrag, sondern auch durch die geringere, fehlerhafte Globalstrahlungsmessung an der Anlage. Denn im Gegensatz zum Pyranometer der Wetterstation Chur, wird unsere Messeinrichtung nicht täglich vom Schnee befreit.

Jeweils im November sank die Performance Ratio stark ab. Hierfür gibt es noch keine Erklärung. Mögliche Ursachen könnten sein, Messungenauigkeiten bei kleinen Messwerten, Reflexionen auf der Glasoberfläche bei flachem Einfallswinkel des Sonnenlichts, Wechselrichterverhalten bei geringer Auslastung, Modulwirkungsgrad bei niedriger Einstrahlung.

Ertragskontrolle PV-Anlage Würth, Chur							
	Prognose		Messwerte		Messwerte		
	 PVSYST		 MeteoSchweiz		 enecolo		
	Globalstrahlung [kWh/m ²]	Anlagenertrag [kWh]	Globalstrahlung Chur auf horiz. Fläche [kWh/m ²]	Globalstrahlung Würth auf geneigte Fläche in [kWh/m ²]	Anlagenertrag [kWh]	Performance Ratio	Bemerkung
Jan 03	45.0	212	33.6	41.2	75.3	0.49	Schnee
Feb	61.9	260	69.7	85.4	166.8	0.53	Schnee
Mrz	102.0	387	117.0	143.4	457.4	0.86	
Apr	131.1	451	136.0	155.0	493.3	0.86	
Mai	159.0	515	152.4	168.0	527.4	0.85	
Jun	159.9	504	178.6	198.9	604	0.82	
Jul	175.8	562	165.5	184.3	571.4	0.84	
Aug	147.9	496	155.7	179.9	559	0.84	
Sep	111.0	403	108.2	132.8	428	0.87	
Okt	78.1	314	67.1	85.8	278	0.88	
Nov	44.1	190	42.0	60.4	141	0.63	
Dez	33.8	159	31.8	48.3	57	0.32	Schnee
Jahreser	1249.5	4453	1257.6		4358.6		

Enecolo AG
Lindhofstrasse 52
CH-8617 Mönchaltorf
www.solarstrom.ch

Abb. 17: Ertragskontrolle 2003

Ertragskontrolle PV-Anlage Würth, Chur							
	Prognose		Messwerte		Messwerte		
	 PVSYST		 MeteoSchweiz		 enecolo		
	Globalstrahlung [kWh/m ²]	Anlagenertrag [kWh]	Globalstrahlung Chur auf horiz. Fläche in [kWh/m ²]	Globalstrahlung Würth auf geneigte Fläche in [kWh/m ²]	Anlagenertrag [kWh]	Performance Ratio	Bemerkung
Jan 04	45.0	212	33.9	39.9	52	0.35	Schnee
Feb	61.9	260	60.1	71.5	204	0.77	Schnee
Mrz	102.0	387	105.0	123.5	412	0.90	
Apr	131.1	451	129.0	145.2	473	0.88	
Mai	159.0	515	160.6	169.3	553	0.88	
Jun	159.9	504	160.5	170.6	544	0.86	
Jul	175.8	562	161.9	171.2	556	0.88	
Aug	147.9	496	131.8	149.0	481	0.87	
Sep	111.0	403	102.8	120.0	398	0.90	
Okt	78.1	314	70.7	Messfehler	289		
Nov	44.1	190	36.8	51.3	119	0.63	
Dez	33.8	159	31.4	50.8	64	0.34	Schnee
Jahreser	1249.5	4453	1184.5		4145		

Enecolo AG
Lindhofstrasse 52
CH-8617 Mönchaltorf
www.solarstrom.ch

Abb. 18: Ertragskontrolle 2004

Nach der monatlichen Ertragsauswertung produziert die Anlage erwartungsgemäss gut. Über den Zeitraum von 2 Jahren lief die Anlage ohne Betriebsstörungen.

6.2 Kennwerte

Nach zwei Jahren Messwertaufnahme stehen ausreichend Daten für eine aussagekräftige Auswertung zur Verfügung. Folgende Aspekte wurden untersucht:

- Temperaturverhalten
- Nennwirkungsgrad des Generators
- Wirkungsgrad des Wechselrichters
- Einschaltpunkt des Wechselrichters
- Ausschaltpunkt des Wechselrichters
- Degradation

Um einen Vergleich der Freilandmessungen mit Labormessungen unter Standard-Testbedingungen (nachstehend STC genannt) zu ermöglichen, wurden zuerst die Abhängigkeiten der Module von Einstrahlung und Temperatur untersucht. Damit werden anschliessend Temperaturkorrekturen durchgeführt.

Temperaturabhängigkeit der Generatorleistung

Die Temperaturabhängigkeit der Generatorleistung ergibt sich aus der DC-Leistung in Abhängigkeit von der Modultemperatur bei konstantem Einstrahlungswert. In Anlehnung an die STC wurden nur Messwerte mit einer Einstrahlung von 1000 W/m² ($\pm 3\%$) verwendet. Legt man eine Trendlinie durch die Punkteschar, ergibt sich aus der Steigung der Temperaturkoeffizient.

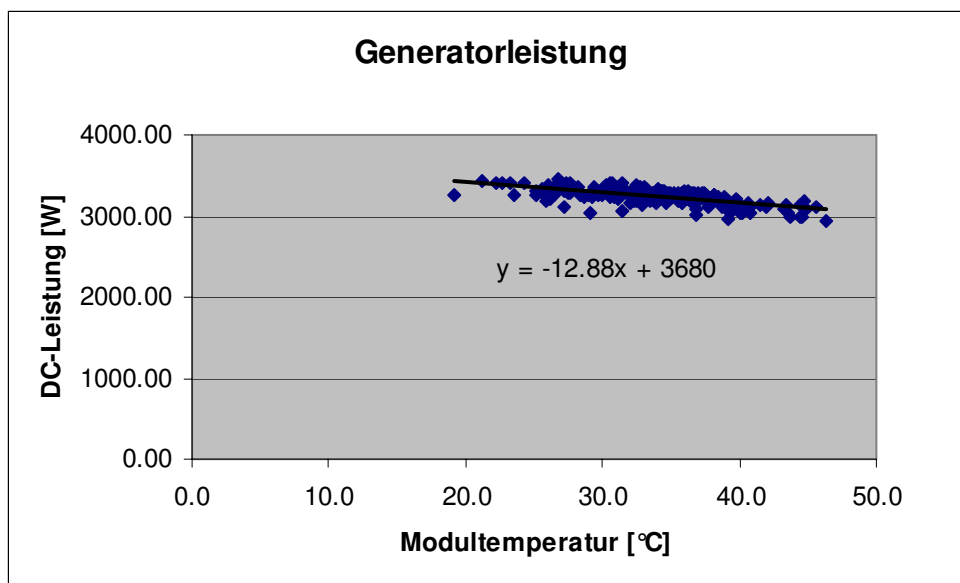


Abb. 19: Generatorleistung als Funktion der Temperatur bei 1000 W/m²

Beziehen wir den ermittelten Koeffizienten auf die gemessene Leistung unter STC-Bedingungen, erhalten wir einen Temperaturkoeffizienten für die Leistung von -0,004 /K. Dieser Wert deckt sich mit der Herstellerangabe von -0,0039 /K.

Die Temperaturabhängigkeit der Leistung im Mpp ist auf die Spannung zurückzuführen. Der Strom wird kaum durch die Modultemperatur beeinflusst, sondern durch die Einstrahlung.

Leistung in Abhängigkeit von der Einstrahlung

Wie der Abb. 20 zu entnehmen ist, stehen Generatorleistung und Einstrahlung in einem linearen Verhältnis. Wie schon von kristallinen Modulen bekannt, ist die Leistung über den Strom von der Einstrahlung abhängig. Messpunkte die weit unterhalb der Geraden liegen wurden im Winter gemessen, als Schnee auf der Anlage lag. Eine gewisse Streuung kommt durch die Auswahl der verwendeten Messpunkte zustande. Es wurden Werte im Modultemperaturbereich von 24.75 °C bis 25.25 °C verwendet.

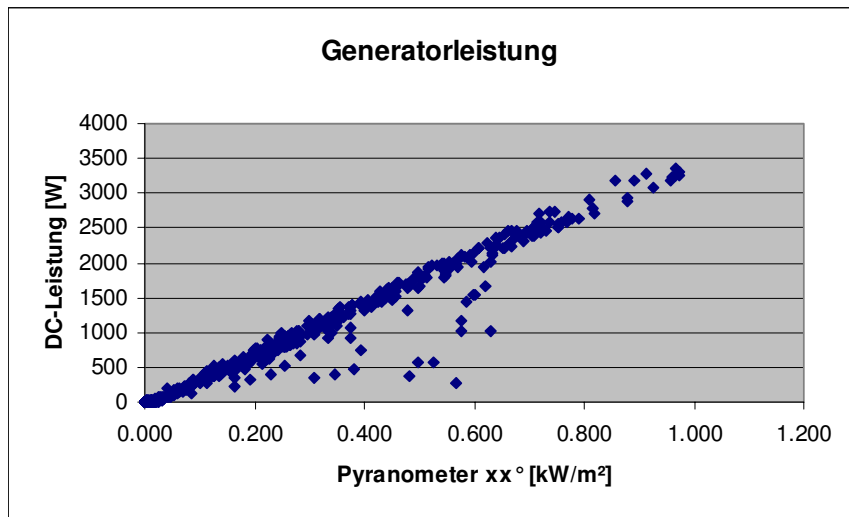


Abb. 20: Generatorleistung als Funktion der Einstrahlung bei 25°C Modultemperatur

Nennwirkungsgrad des Generators

Der Wirkungsgrad der Solarmodule sinkt bei steigender Temperatur. Durch den Temperatur-Koeffizienten besteht eine lineare Beziehung zwischen Temperatur und Wirkungsgrad. Um den Wirkungsgrad des Generators bei verschiedenen Temperaturen vergleichbar zu machen, wurden die bei 1000 W/m² Einstrahlung gemessenen Leistungswerte auf 25°C Zelltemperatur korrigiert. Dazu wurde der ermittelte Temperaturkoeffizient von 0,004/K verwendet.

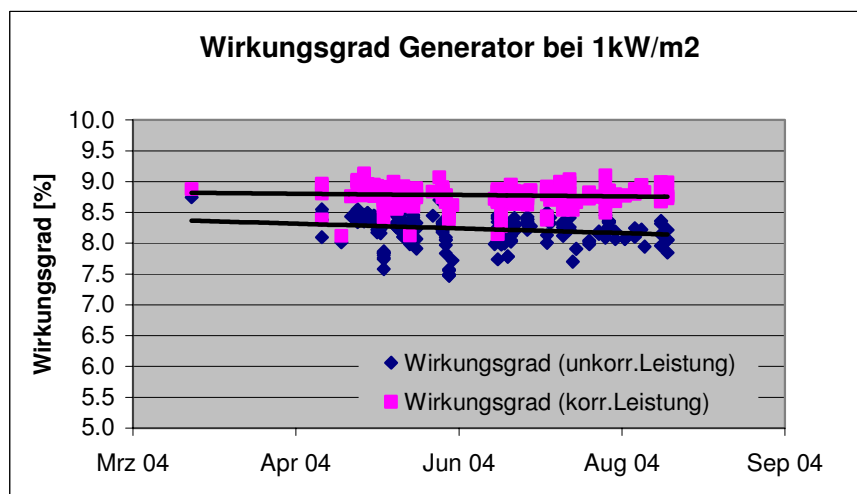


Abb. 21: Generatorwirkungsgrad als Funktion der Zeit

In Abb. 21 sind die korrigierten Wirkungsgrade aufgeführt. Nach Herstellerangaben ist unter STC Bedingungen ein Modulwirkungsgrad von 10% zu erwarten. Unter Berücksichtigung von Verschaltungsverlusten und anderen Anlagenverlusten erscheinen die ermittelten Werte realistisch und decken sich mit anderen Freilanduntersuchungen typgleicher Module (EU-Projekt PYTHAGORAS). Anzeichen von Degradation gab es keine.

Wirkungsgrad bei tiefen Einstrahlungen

Über den STC-Einstrahlungswert von 1000 W/m² hinaus ist es von Interesse, wie effizient die Module bei niedrigeren Einstrahlungswerten arbeiten. Abb. 22 zeigt den Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der Einstrahlung bei korrigierter Temperatur.

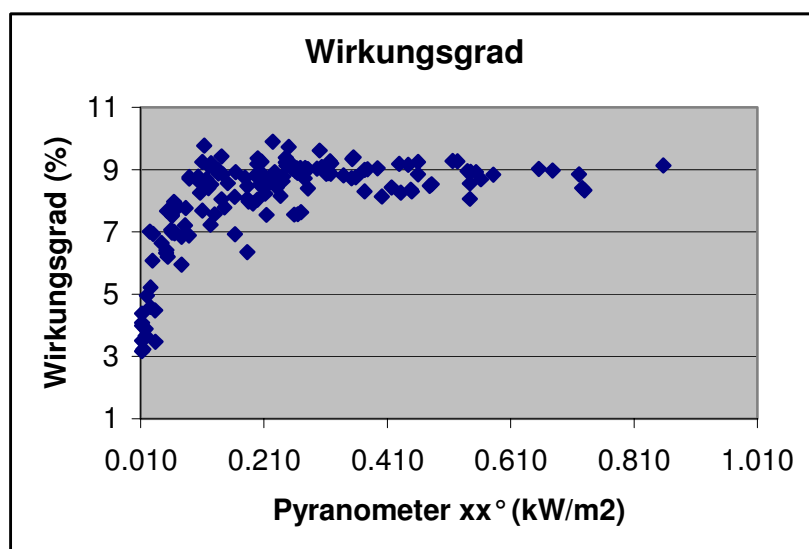


Abb. 22: Wirkungsgrad Modul als Funktion der Einstrahlung

Bei Messungen unter 400 W/m² unterliegt die Messung einer hohen Messtoleranz – deutlich zu erkennen durch die Streuung. Generell kann man aber sagen, dass die Module auch bei geringer Einstrahlung noch einen guten Wirkungsgrad aufweist.

Verhalten Wechselrichter

Bei einer Modultemperatur von 60°C liegt die Umpp mit 74,8 Volt nahe an der Ausschaltspannung des Wechselrichters von 72 Volt. Daher wurde schon bei der Planung befürchtet, dass der Wechselrichter bei hohen Aussentemperaturen abschaltet, zumal dem eingesetzten ASP nachgesagt wird, eine höhere Einschaltspannung zu haben als im Datenblatt mit 82 Volt angegeben.

Das konnten unsere Messungen klar widerlegen. Die Einschaltspannung des Wechselrichters liegt bei 78 Volt. Die Ausschaltspannung konnte mit 71 Volt ermittelt werden.

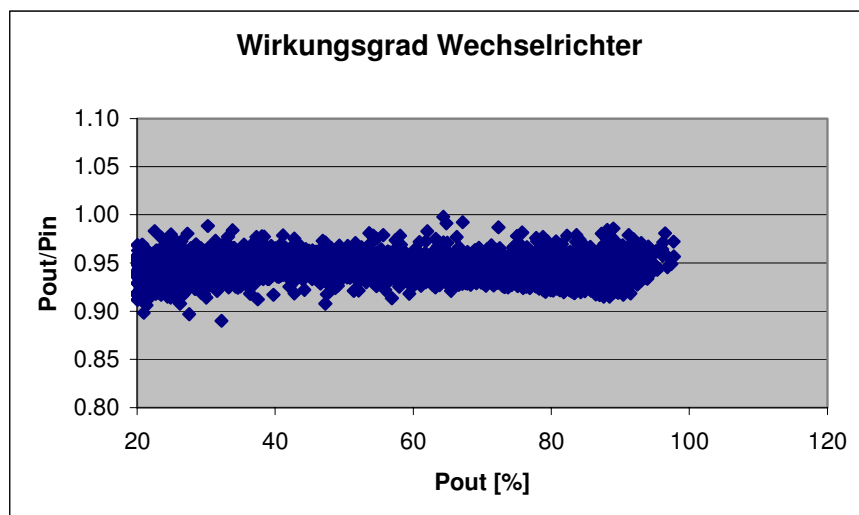


Abb. 23: Wirkungsgradverlauf des ASP 4000

Der Wirkungsgradverlauf des Wechselrichters ist erwartungsgemäss gut. Im unteren Leistungsbereich führten die Messumwandler zu einer grossen Messungenauigkeit, sodass diese Werte für die Auswertung nicht berücksichtigt werden dürfen.

Energy Rating

Die Performance-Berechnung der Anlage wird nach der „TISO-Methode“ durchgeführt. DC-Strom und Spannung, sowie Globalstrahlung und Modultemperatur bilden die Grundlage. Aus den aufgenommenen Daten wird eine komplexe Formel interpoliert. Mittels dieser Formel wird die Performance Matrix errechnet als Funktion von Einstrahlung und Modultemperatur. Aus der Matrix lässt sich anschliessend die Anlagenleistung unter STC bestimmen.

Während der 2 Jahre wurde die Einstrahlung auf die Modulebene, die Generator-Leistung, sowie die Modultemperatur aufgenommen um die Generator-Performance-Matrix zu erstellen. Durch die Anordnung der einzelnen Messpunkte in einem 3-Koordinaten-System erhält man die sogenannte Rohmatrix.

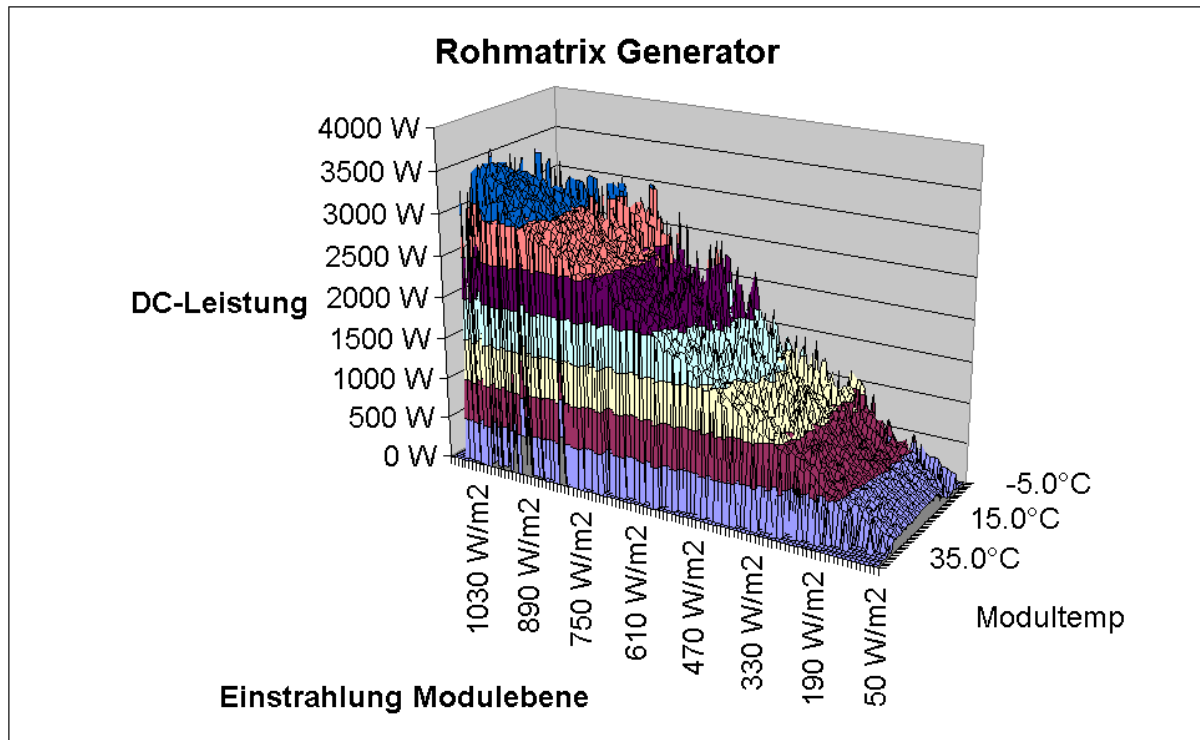


Abb. 24: Rohmatrix des Generators

In der Rohdaten-Matrix fällt auf, dass sich einige Messpunkte sehr unharmonisch verhalten. Trägt man die DC-Leistung in Abhängigkeit von der Einstrahlung auf, wird dies noch deutlicher.

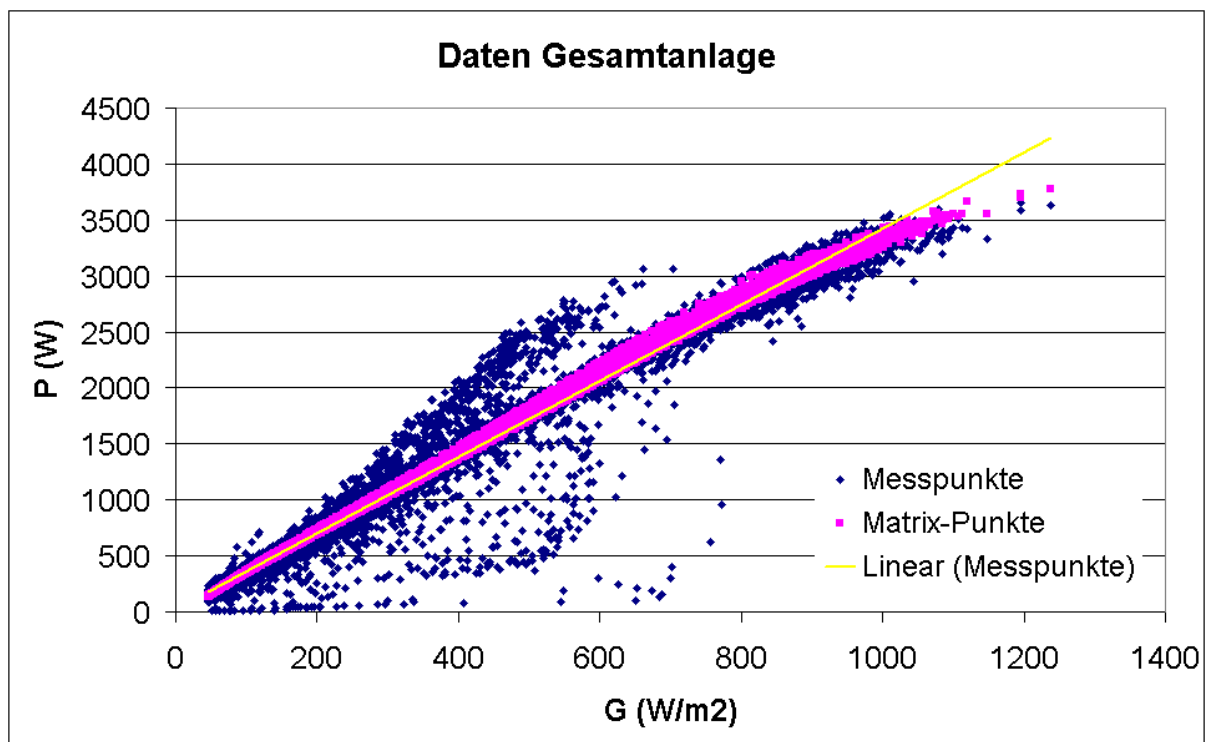


Abb. 25: Anlagenleistung in Abhängigkeit von der Einstrahlung

Datenpunkte unterhalb der Trendlinie waren durch Schnee auf der Anlage zu erwarten. Das Pyranometer ist in der Regel schneller vom Schnee befreit als die Anlage.

Der „Daten-Ast“ oberhalb der Trendlinie deutet auf eine kurzzeitige Verschmutzung des Pyranometers hin. Dies haben auch Nachforschungen ergeben: Die Daten sind alle während einer Periode erfasst worden. Zudem verschwindet der „Ast“, wenn die Daten des zweiten Pyranometers eingesetzt werden, das auf 0° Neigung ausgerichtet ist.

Für die Performance-Matrix werden nur Punkte verwendet, die in einem bestimmten Toleranzband liegen, das vom Auswertungsprogramm durch die Streuung der Messpunkte selbst festgelegt wird. Bei dieser Auswertung wurde das Toleranzband auf 120 Watt festgelegt. Alle rosa eingefärbten Punkte der Abb. 25 liegen in diesem Toleranzband und werden für die Performance-Matrix verwendet.

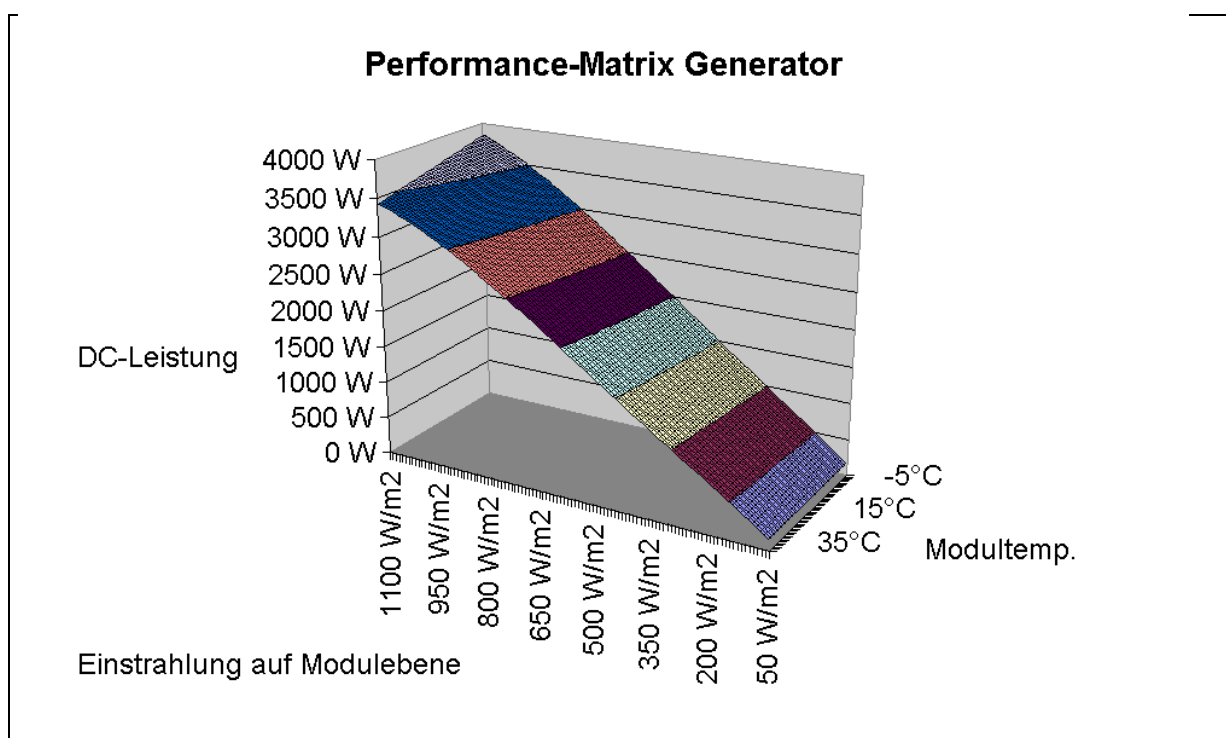


Abb. 26: Performance-Matrix der Gesamtanlage

Die Performance-Matrix des Generators zeigt den lückenlosen Zusammenhang von Einstrahlung, Temperatur und Leistung. Wie wir in der Rohdaten-Matrix erkennen können, sind nicht alle Punkte der Performance-Matrix gemessen worden, sondern interpoliert. Diese Interpolation ist um so genau, je mehr Messpunkte zur Verfügung stehen.

Insgesamt wurde eine Nominalleistung von 3767 Watt installiert. Aus der Performance-Matrix können wir bei 1000 W/m² und 25°C eine DC-Anlagenleistung von 3362 Watt entnehmen. Der Generator liefert somit 89,3% der Nominalleistung unter Standard-Test-Bedingungen (derzeitige Unsicherheit 6,4%).

Dieses Ergebnis ist ausserordentlich gut, berücksichtigt man die darin enthaltenen Verluste durch Herstellerabweichung Nennleistung PV-Module (4-4,5%), Mismatching und DC-Verluste (3-4,5%) und MPP-Anpassungsfehler (1-1,5%).

6.3 Visuelle Kontrolle

Viermal wurde eine Begehung durchgeführt um den Zustand der Anlage zu dokumentieren. Kontrolliert wurden mögliche Veränderungen an den Modulen wie z.B. Delamination oder farbliche Veränderungen. Zudem wurden die einzelnen Strangströme und Spannungen gemessen um sich von der einwandfreien Funktion der Anlage zu vergewissern. Dies ist die zwingende Voraussetzung für eine seriöse Auswertung.



Abb. 27: verschmutztes Modul

Bei allen Begehungen konnte eines festgestellt werden: Durch die geringe Neigung der Module und die Art der Montage, sammelt sich schnell Schmutz auf den Modulen an.

Doch wie alle Oberlichter, werden auch die Module einmal jährlich gereinigt. Zudem ist die negative Auswirkung auf den Ertrag gering, da anders als bei Crystallinen Modulen der Verlust nur proportional zur verschmutzten Fläche ist.

Neben der Verschmutzung konnten keine Unregelmässigkeiten auf der Anlage festgestellt werden. Weder Delamination noch Verfärbungen waren zu erkennen.

Neben der eigentlichen PV-Anlage wurden auch der Messaufbau einer visuellen Kontrolle unterzogen. Sind die Temperaturfühler in der vorgesehenen Position; ist die Ausrichtung der Pyranometer korrekt? Die Funktionstüchtigkeit aller Sensoren die an der Leistungsmessung beteiligt sind wird durch einen Vergleich zwischen dem aus den Messwerten errechneten Energieertrag und dem offiziellen Zählerwert kontrolliert. Die monatliche Abweichung muss unter 2% liegen.

Bei den visuellen Kontrollen zeigte sich die Messeinrichtung in einem makellosen Zustand. Temperaturfühler und Pyranometer waren in der vorgesehenen Position.

6.4 Beschattungseinfluss

Anders als ursprünglich geplant, wurden nur die Oberlichter des Atriums, mit Laminaten versehen. Von der Verkleidung der Fassade wurde abgesehen. Der Einfluss der Lamine auf die Beleuchtungssituation durch Tageslicht ist entsprechend gering.

Ausgehend von 100% bei unbeschatteten Oberlichtern des Atriums, wird 25% des einfallenden Tageslichts durch die Streifung der CIS-Module aufgehalten. Durch die motorische Storenanlage kann zudem der Lichteinfall von oben auf 25% reduziert werden. Da die raumoffenen Stockwerke über eine rundum Glasfassade verfügen, ist der Beschattungseinfluss der CIS-Module auf den Energiehaushalt (Kühlung) praktisch nicht nachweisbar.



Abb. 28: Blick auf die Gebäudehülle

Trotzdem wollen wir den theoretischen Hintergrund aufzeigen: Das gewählte Glas der Oberlichter hat eine Lichttransmission von 64% und einen g-Wert von 38%.

Der g-Wert zeigt an, wie viel % der Sonnenenergie, die auf die Verglasung trifft, das Glas passieren kann. Er steht also für den Energiegewinn eines Gebäudes. Der k-Wert dagegen steht für den Energieverlust eines Gebäudes durch die Aussenhülle, die ja im Wesentlichen von Glas gebildet wird.

Da zwischen Sommer und Winter grosse Unterschiede in Sonnenstand und Sonnenscheindauer bestehen, kommen dem g- und dem k-Wert auch je nach Jahreszeit unterschiedliche Bedeutungen zu.

Ein hoher g-Wert bedeutet immer hohen Energiegewinn, was im Winter sicherlich erwünscht ist, um die Heizkosten niedrig zu halten, im Sommer aber zu zusätzlichen Massnahmen zwingt, wie z.B. Sonnenschutz oder Kühlung.

Ein niedriger k-Wert bedeutet gute Isolation und geringer Wärmeverlust. Auch dieses ist im Winter erwünscht, führt im Sommer aber dazu, dass das Gebäude eine längere Abkühlphase benötigt.

Die Firma Transsolar Energietechnik hat für den Energiehaushalt des Gebäudes den g-Wert für das Glas in Kombination mit den CIS Modulen auf $\leq 15\%$ festgelegt, um ein Optimum zwischen Heiz- und Kühlleistung zu erreichen. Dieses Ziel wurde wie folgt erreicht:

Anteil Bedruckung * Strahlungstransmission mit Solarzelle
+ Anteil ohne Bedruckung * Strahlungstransmission ohne Solarzelle
* g-Wert Verglasung
= Gesamt-g-Wert

$$= (0,5 * 0 + 0,5 * 0,84) * 0,38 = 0,16$$

abzüglich 5% für die konstruktiven Bauteile der Aufständering erhalten wir somit einen Gesamt-g-Wert 15%

Wegen der ca. 30cm hohen Aufständering kann man davon ausgehen, dass die CIS-Module gut hinterlüftet sind und somit keinen nennenswerten Wärmeeintrag nach innen verursachen. Daher ist lediglich die Strahlungstransmission der CIS-Module für den gesamten g-Wert zu berücksichtigen. Der g-Wert eines Elementes beinhaltet immer die Strahlungstransmission plus den Wärmeeintrag (sekundäre Wärmeabgabe).

6.5 Befragung

Um die Akzeptanz der Solarstromanlage bei den Büroangestellten der Würth zu erforschen wurde eine Befragung durchgeführt. Im folgenden werden die Antworten zusammengefasst aufgezeigt:

Frage 1.) Wissen Sie, dass auf dem Dach dieses Gebäudes eine Solaranlage steht? Nach Fertigstellung der Anlage wurden alle Angestellten über die Photovoltaikanlage auf dem Dach informiert. Besucher wurden bei einem Rundgang durch das neue Gebäude jeweils in Kenntnis gesetzt.

Frage 2.) Sehen Sie die Solaranlage vom Innern des Gebäudes? 80% der Angestellten war es nicht bewusst, dass die gestreiften Dachfenster zur PV-Anlage gehören.

Frage 3.) Wie gefallen Ihnen die gestreiften Dachfenster? Wurden die Mitarbeiter auf die gestreiften Module aufmerksam gemacht, beurteilten sie diese zumeist als elegante Form der Integration.

Frage 4.) Wie hätten Sie die Solaranlage designed? a) Ebenfalls mit einem Muster in die Dachfenster integriert; b) Unsichtbar vom Gebäudeinnern; c) Einzelne Dachfenster ganz durch Solarmodule ersetzen; d) Anders:.

Auf diese Frage antworteten die Angestellten zumeist mit Antwort a.

Frage 5.) Lassen die Dachfenster genügend Licht ins Gebäude oder müssen Sie ständig die Lampen einschalten? Der Einfluss der Rundumverglasung des Gebäudes machte es den Angestellten unmöglich, den Lichteinfall durch die Oberlichter zu bewerten. Zudem ist die Intensität der Innenraumbeleuchtung auch abhängig von den Reflexionseigenschaften der Wände, Decke und des Bodens sowie der Entfernung des Arbeitsplatzes vom Fenster.

Frage 6.) Wird es an warmen Tagen sehr heiss im Büro? Da das Gebäude im Sommer klimatisiert wird, ist die Raumtemperatur konstant. Daher konnte der gefühlte Wärmeeintrag nicht bewertet werden.

Frage 7.) Hätten Sie lieber überall einen normalen, beweglichen Rollläde vor den Fenstern gehabt anstatt der Streifen? Warum / Warum nicht? Da die Streifen ihre Funktion als Blendschutz erfüllen, waren alle Befragten mit den Streifen einverstanden.

Da die Anlage sehr dezent integriert wurde, und somit von Angestellten und Besuchern kaum wahrgenommen wird, sind die Ergebnisse der Befragung dürftig.

7. Schlussfolgerung

Im Projektverlauf konnten über 2 Jahre wertvolle Erkenntnisse über die CIS-Technologie gesammelt werden. Die monatlichen Auswertungen haben gezeigt, dass ein prognostizierbarer Betrieb der Anlage möglich ist. Kennwerte wie Temperaturkoeffizient und Wirkungsgrade auch nach zwei Jahren Betrieb konstant. Soweit erwies sich die CIS Technologie als sehr zuverlässig.

Die Performance Matrix des Generators zeigt den lückenlosen Zusammenhang von Einstrahlung, Temperatur und Leistung. Damit steht uns ein nützliches Tool zur Verfügung. Durch den Vergleich von jährlich erstellten Matrizen, lassen sich Veränderungen in der Performance detektieren. In den ersten zwei Betriebsjahren konnten jedoch keine nennenswerten Veränderungen ausgemacht werden. Um mehr Erfahrungen mit der CIS Technologie zu sammeln, empfehlen wir weiterhin eine jährliche Matrix zu erstellen. Die dadurch erstellte Historie würde wertvolle Hinweise über das Langzeitverhalten der CIS-Module geben.

8. Dank

Das Projekt wurde finanziell durch das Bundesamt für Energie unterstützt. Die Firma Würth stellte die CIS Anlage zu Messzwecken zur Verfügung. Der Dank für das gute Gelingen geht an alle Beteiligten!

9. Anhang

- Würth Solar GmbH & Co.KG – Unternehmensprofil
- Technisches Blatt CIS Solarmodule



Würth Solar GmbH & Co.KG
Unternehmensprofil
Stand: 01/2005

Gründung:	1999 mit dem Ziel der Überführung der bis dato nur im Laborformat hergestellten CIS-Module in Produktionsanlagen mit industriellem Standard
Gesellschafter:	Unternehmensgruppe Würth (99,5%) ZSW / Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (0,5%)
Firmensitz:	Marbach / Neckar
Geschäftsführung:	Karl-Heinz Groß
Mitarbeiter:	2004: 62 (zzgl. 18 im Vertriebsunternehmen Würth Solergy)
Umsatz:	2003: 1,1 Mio. € 2004: 3,7 Mio. €
CIS-Photovoltaikmodule:	<ul style="list-style-type: none">- Alternative zu kristalliner Siliziumtechnologie- Bedampfung eines Trägermaterials (Floatglas) mit einer wenige Mikrometer dicken, photoaktiven Schicht bestehend aus den Elementen Kupfer - Indium - Selenid- Kosten-Einsparungspotential durch Energie- und Materialreduzierung im Großserien-Herstellungsprozess- Hervorragende Energieerträge- Hohe Flexibilität in der Anpassung- Herausragende Eigenschaften hinsichtlich Design und Ästhetik
Daten und Fakten:	
2003:	<ul style="list-style-type: none">- Produktionsvolumen: 10.000 CIS-Module / 420 KW Gesamtleistung (Standardmodule und kundenspezifische Ausführungen)- Wirkungsgrad für Serienmodule durchschnittlich 11%, Einzelwirkungsgrade deutlich darüber- Inbetriebnahme einer zweiten Produktionslinie im Dezember; Investitionsvolumen rd. 3,4 Mio. €
2004:	<ul style="list-style-type: none">- Produktionskapazität: rd. 1,3 MW- Produktionsvolumen: rd. 20.000 CIS-Module (Standardmodule und kundenspezifische Ausführungen)- Wirkungsgrad für Serienmodule durchschnittlich 12% , Einzelwirkungsgrade deutlich darüber- Investition in eine weitere CIS-Produktionslinie mit einer Beschichtungsbreite von 120 cm Ziel: Qualifizierung der neuen Anlagengeneration im Hinblick auf die Großserienfertigung Investitionsvolumen rd. 3,5 Mio. € Inbetriebnahme: Ende 2004

Auszug d. Referenzen:

- Solarturm Heilbronn
- Bildungszentrum Marbach / Neckar
- Grundschule Rotbäumlesfeld, Ludwigsburg
- Friedenskirche Tübingen
- Verwaltungsgebäude Würth Elektronik eiSos, Waldenburg
- Würth Holding Zentrale, Chur (CH)
- Schapfenmühle Ulm



Die Haute Couture der Photovoltaik

CIS Solarmodule

Technisches Datenblatt



CIS-Photovoltaikmodule

CIS-Module von Würth Solar bestehen aus mehrschichtigen CIS- (Kupfer-Indium-Diselenid) Solarzellen, die in Reihe geschaltet sind. Diese nehmen ein breites Spektrum von Lichtenergie auf und sorgen auch bei ungünstigen Wetterverhältnissen noch für maximalen Stromausstoß. Aufgrund ihrer hohen Zuverlässigkeit und der langen Lebensdauer eignen sich CIS-Solarmodule für fast alle Anwendungsbereiche und Größenordnungen von Solarstrom-Systemen.

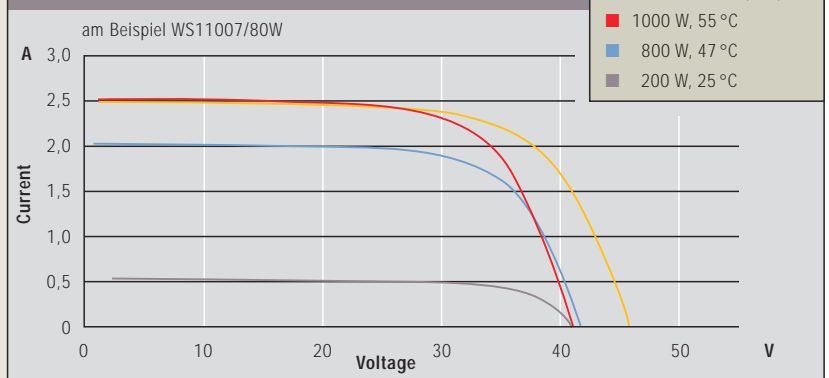
CIS-Solarmodule werden gleichermaßen in Standard- wie auch in kundenspezifischen Ausführungen angeboten. Sie zeichnen sich durch ihre einheitlich schwarze Moduloberfläche aus und erfüllen damit höchste Anforderungen an Ästhetik und Produktdesign.

Allgemeine Technische Daten:

Thermische Kennwerte		
NOCT ¹	°C	47 ± 3
Temperaturkoeffizient des Kurzschlussstromes	% / °C	0,05
Temperaturkoeffizient der Leerlaufspannung	% / °C	-0,29
Temperaturkoeffizient der Nennleistung	% / °C	-0,36

Grenzwerte		
Maximal zulässige Modultemperatur	°C	-40 ... +85
Flächendruck	N/m ²	2.400
Maximale Verwindung	°	1,2

Intensitäts- und temperaturabhängiges Verhalten



Technische Daten

	WS 11000	WS 11002	WS 11003	WS 31044
Nennleistung (Wp)	5,5	12,0	18,0	23,0
Spannung MPP (V)	16,5	16,5	16,5	16,5
Strom im MPP (A)	0,33	0,73	1,10	1,40
Leerlaufspannung (V)	22,0	22,0	22,0	22,0
Kurzschlussstrom (A)	0,35	0,78	1,18	1,50
Leerlaufspannung (V) bei -10 °C	24,3	24,3	24,3	24,3
MPP-Spannung (V) bei +70 °C	13,8	13,8	13,8	13,8
Spannungsänderung pro °C (%)	-0,29	-0,29	-0,29	-0,29
Leistungsänderung pro °C (%)	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36
Abmessungen in mm (H x B)	205 x 305	405 x 305	305 x 605	405 x 605
Gewicht (kg)	1,3	2,4	3,4	4,5
Anschlussvariante (s. u.)	①	①	①	①

Die elektrischen Daten gelten für Standard Testbedingungen (STC): 1.000 W/m², AM 1,5, 25 °C

¹⁾ Normale Zellen-Betriebstemperatur bei Einstrahlung: I = 800 W/m²
Umgebungstemperatur: T_U = 20 °C
Windgeschwindigkeit: V_w = 1 m/s

Rahmen-Varianten

- Rahmen aus korrosionsbeständigem Aluminium, schwarz eloxiert (Standard)
- Rahmen aus korrosionsbeständigem Aluminium, eloxiert (auf Anfrage)
- Rahmenloses Modul (auf Anfrage)

Aufgrund ständiger Optimierungen unserer Module, kann es zu Änderungen der im technischen Datenblatt angegebenen Daten kommen. Bitte verwenden Sie daher immer die aktuellsten Datenblätter, die Sie unter www.wuerth-solar.de finden können oder sprechen Sie mit unseren Außendienstmitarbeitern.

Module in Standardausführung

Würth Solar CIS-Module werden im Glas / Glasverbund mit oder ohne Rahmen geliefert. Das eingesetzte Frontglas ist extrem lichtdurchlässig und schützt das Modul auch vor härtesten Umgebungsbedingungen.

Die Standardmodule sind für ein breites Spektrum von Betriebsbedingungen laborgetestet und werden nach strengen Qualitätsrichtlinien produziert. Zu jedem Modul ist ein Prüfzertifikat erhältlich.



Über weitere Leistungsklassen informieren wir Sie gerne auf Anfrage					
WS 31045	WS 31046	WS 31047	WS 11007/75	WS 11007/80	WS 31050/80
35,0	55,0	80,0	75,0	80,0	80,0
16,5	16,5	16,5	35,0	36,0	120,0
2,12	3,33	4,85	2,15	2,22	0,67
22,0	22,0	22,0	44,5	45,5	160,0
2,29	3,56	5,19	2,36	2,50	0,72
24,3	24,3	24,3	49,0	50,2	177,0
13,8	13,8	13,8	29,3	30,2	101,0
-0,29	-0,29	-0,29	-0,29	-0,29	-0,29
-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36
605 x 605	605 x 905	605 x 1.205	605 x 1.205	605 x 1.205	605 x 1.205
6,5	9,7	12,8	12,7	12,7	12,6
①	③	③	②	②	①*

* Kabel Ø 2,5 mm² mit MC-Stecker

Anschluss-Varianten

① 2 Anschlussknöpfe mit Kabel



Kabel Ø: 1 mm²

Abmessung: 30 x 50 x 12 mm (B x H x T)

② Anschlussdose ((Bez. MC/PV-JB/K-2/2,5))



Abmessung: 55 x 91 x 13 mm (B x H x T)

③ Anschlussdose



Abmessung: 100 x 158 x 35 mm (B x H x T)

Module in maßgeschneiderter Ausführung



CIS-Module eignen sich aufgrund ihres ästhetischen Aussehens und der Flexibilität in Größe, Form und Leistung ganz besonders für die maßgeschneiderte Integration in Produkte des täglichen Lebens. Aufgrund des besonderen Herstellungsverfahrens können die technischen Eigenschaften schon in der Produktion auf die gewünschte Systemlösung abgestimmt werden.

Technische Daten

Modul-Charakteristika	
Basismaterial	CIS auf Floatglas
Anschlussmöglichkeiten	Kontaktbändchen oder Anschlusskabel

Abmessungen und Gewicht	
min. Abmessung (mm)	80 x 80
max. Abmessung (mm)	600 x 1.200 (Sonderausführungen auf Anfrage)
min. Moduldicke (mm)	5,5 (Sonderausführungen auf Anfrage)
Gewicht (g)	Länge (mm) x Breite (mm) x Tiefe (mm) x 0,0025

Zellenkennzahlen der Einzelzelle		
Leerlaufspannung U_{OC}	V	0,65
Spannung bei max. Leistung U_{max}	V	0,50
Kurzschlussstrom I_{SC}	mA/cm ²	26
Strom bei max. Leistung I_{max}	mA/cm ²	23



Wie ist der Weg von der Idee zum tatsächlich solarstrombetriebenen Produkt?

Als Hersteller innovativer Photovoltaik-Module suchen wir den Kontakt zu Produktentwicklern mit Ideen. Wenn Sie sich also vorstellen könnten, Ihr Produkt photovoltaisch zu betreiben oder auch an einer Alternative zu herkömmlicher Silicium-Technologie interessiert sind, sollten wir ins Gespräch kommen! **Rufen Sie uns einfach an oder nehmen Sie über unsere Internetseite Kontakt mit uns auf!**



Würth Solar GmbH & Co.KG
Reinhold-Würth-Straße 4
71672 Marbach am Neckar
Tel. (07144) 9414-0
Fax (07144) 9414-19
wuerth.solar@we-online.de
www.wuerth-solar.de