

Schlussbericht PV P+D, DIS 100154 / 150196, August 2005

62 kW Flachdachanlage mit PowerGuard Solardachplatten

ausgearbeitet durch:
Richard Durot
ZAGSOLAR
Amlehnstr. 33, CH-6010 Kriens



Luftaufnahme Trisa Electro AG mit integrierter Photovoltaikanlage

Zusammenfassung

Die Trisa Electro AG baute 2003 in Triengen ein neues Logistik-Center. Auf dem Dach des Hochregallagers wurde eine Photovoltaikanlage mit 62,4 kW installierter Leistung erstellt.

Im Dezember 2003 konnten die PowerGuard - Solardachplatten ins Flachdach integriert werden. Die Montage war sehr einfach; die Solardachplatten mit einer Gesamtfläche von über 600m² konnten mit drei bis vier Personen in vier Tagen montiert, angeschlossen und gesichert werden, also in sehr kurzer Zeit.

Ende Januar 2004 wurde die Photovoltaikanlage ans Netz der CKW angeschlossen.

Die eingesetzten Solardachplatten bestehen aus 5cm dicken Isolationsplatten und darauf fixierten rahmenlosen Solarmodulen. Dementsprechend wurde eine Messeinrichtung für die Photovoltaikanlage installiert, welche neben den elektrischen Ertragsgrößen und der Einstrahlung auch diverse Temperaturen erfasst.

Die Messergebnisse der ersten 16 Monate zeigten einen sehr guten Solarstromertrag (860 kWh/kWp), der über den Erwartungen lag. Zusätzlich konnte dank den Solardachplatten auch der Energiebedarf für die Wärmeversorgung und Kühlung des Gebäudes reduziert werden. Allerdings ist die Isolationswirkung nur bei trockenem Wetter bedeutsam.

Beim Eingang des Logistik-Centers wurde an gut sichtbarer Stelle eine Anzeigetafel aufgestellt, welche auf die gebäudeintegrierte Solaranlage hinweist und die aktuellen Anlagedaten aufzeigt.

ABSTRACT

In Triengen Switzerland, the Trisa Electro AG has built a new logistic center. A 62 kW photovoltaic installation is integrated in the flat roof of that industrial building.

In December 2003 the PV-system could be installed. The installation of the PV-roof was very easy and could be completed in a very short time. The PV-system was connected to the grid of the local power company in the end of January 2004. The used PowerGuard-tiles consist of insulation-elements and frameless photovoltaic modules. A measurement and data-acquisition-system has been installed, comprising measurement of temperatures, irradiation, power and energy.

The measurements show an excellent electrical power production and at the same time energy requirements for heating and cooling are reduced. The reduction of energy for heating only occurs when the weather is dry.

An information display panel at the entrance of the logistic center points to the building-integrated PV-installation and shows the actual power- and energy-values.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung / Projektziele.....	4
2.	Kurzbeschreibung des Projektes	5
3.	Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse.....	5
3.1.	Montage.....	5
3.2.	Messdatenerfassung	6
3.3.	Energieertrag.....	7
3.4.	Temperaturverlauf	8
3.5.	Anzeigeeinheit.....	10
4.	Referenzen / Publikationen.....	10
5.	Schlussfolgerungen und Perspektive.....	10

1. Einleitung / Projektziele

Die Firma Trisa Electro AG baute in Triengen ein neues Logistikzentrum, welches Anfang 2004 in Betrieb genommen wurde. Zum Logistikzentrum gehört auch ein Hochregallager mit einer Gebäudehöhe von rund 16m. In das Flachdach dieses Gebäudeteils wurde in Form von Solardachplatten eine Photovoltaikanlage integriert.

Die verwendeten Solardachplatten PowerGuard bestehen aus einer 5 cm dicken Isolationsschicht und den aufgeklebten Solarmodulen (vgl. Bild 1 und 2). Sie erfüllen 3 Funktionen:

- Sie liefern Strom aus Sonnenenergie
- Sie tragen zur Dachisolation bei und reduzieren dadurch den Wärmebedarf des Gebäudes
- Sie schützen die Dachhaut vor übermässigen Temperaturschwankungen und erhöhen dadurch die Lebensdauer des Daches

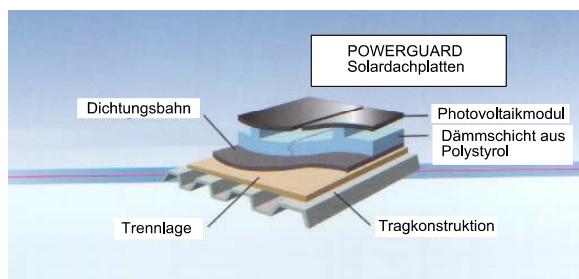


Bild 1: Dachaufbau mit Solardachplatten



Bild 2: Solardachplattenstapel vor der Montage

Folgende Ziele wurden mit der Realisierung der Photovoltaikanlage bei der Trisa Electro AG verfolgt:

- Aufzeigen der Gebäudeintegration einer Solaranlage mittels PowerGuard-Solardachplatten
- Überprüfung der Montagefreundlichkeit dieses Dachintegrationssystems
- Messtechnische Überprüfung der Anlage
- Veranschaulichung des Anlagenbetriebes mit gut situierter Anzeigetafel

Für das Jahr 2003 war die Planung und Realisierung der Anlage vorgesehen. Nach dem Anlagenbau im Dezember 2003 und der Inbetriebnahme Anfang 2004 galt es nun den Betrieb der Anlage messtechnisch und visuell zu überwachen.



Bild 3: Neues Logistikzentrum Trisa Electro AG mit Hochregallager



Bild 4: Realisierte Anlage (Sommer 2004)

2. Kurzbeschreibung des Projektes

Der südliche Teil des Hochregallagers der Trisa Electro AG weist eine Länge von rund 40 Meter und eine Breite von rund 22 Meter auf. Auf dem Flachdach wurden in Form eines Umkehrdaches Solar-dachplatten verlegt, welche aus einer 5 cm dicken Isolationsschicht und je zwei rahmenlosen Solar-modulen SP75 bestehen. Die Platten wurden in 13 Reihen und 32 Kolonnen angeordnet. Bei Einbe-zug des 60 Zentimeter breiten Gehwegs in der Mitte in Längs- und Querrichtung ergab sich ein Solar-feld von 36.4 m mal 16.7 m (ca. 608 m²).

Die insgesamt 416 Solardachplatten haben eine Nennleistung von 62.4 kW. Je 32 Solarmodule sind in Serie geschaltet. Die resultierenden 26 Stränge wurden über einen Klemmenkasten auf die zwei So-larmax30- Wechselrichter geführt. Den Berechnungen mit PVSYST entsprechend dürften jährlich rund 54000 kWh elektrische Energie ins Netz der Zentralschweizer Kraftwerke (CKW) eingespeist werden können.

Es wurde mit der Solaranlage auch eine Einrichtung zur Messdatenerfassung installiert, welche neben den elektrischen Daten der Anlage auch die Panel-, die Umgebungstemperatur, die Temperatur unter der Isolationsschicht und jene unter der Kiesschicht erfasst. Die erfassten Messwerte dokumentieren das elektrische Verhalten der Anlage und auch die Temperaturen an den interessierenden Stellen auf dem Dach.

In der Nähe des Haupteinganges zum Logistikzentrum steht das Trafohäuschen der CKW. An diesem Gebäude ist eine Anzeigetafel geplant, welche die besondere Anlage auf dem Dach des Hochregalla-gers erklärt und deren Funktion mit digitalen und Zeiger-Instrumenten anzeigt.

3. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

3.1. Montage

Der gesamte Neubau des Logistikzentrums ging planmässig vor sich. Anfangs Dezember 2003 war das Flachdach des Hochregallagers soweit erstellt, dass die Photovoltaikanlage aufgebaut werden konnte.

Mitte Dezember 2003 wurden die in den USA produzierten und in Schiffscontainern verladenen Solar-dachplatten mittels Sattelschlepper auf die Baustelle geliefert. Mit einem Armkran wurden die Platten-stapel auf das Flachdach gehievt, wo sie anschliessend in der richtigen Position auf dem Dach verteilt und aneinander gereiht wurden.

Der Aufwand für die Montage der Solardachplatten erwies sich als klein und die Elemente einfach zu handhaben. Da die Solardachplatten nur ein geringes Gewicht haben, konnten sie durch zwei Perso-nen problemlos getragen und auf dem Dach platziert werden. Die erforderliche Stabilität bezüglich der Windkräfte wurde durch das Zusammenfügen der Platten durch Nut und Kamm und den umlaufenden gut fixierten Randabschluss erreicht. Die einzelnen Module wurden durch Multi-Contact-Stecker mit-einander verbunden. Bild 5 zeigt die problemlose und einfache Montage der Solardachplatten am Tag der Anlieferung auf die Baustelle.



Anlieferung der Module



Ablad der Module auf Dach
Hochregallager



Verteilte Modulstapel auf dem
Dach



Zusammensetzen der Solar-
dachplatten



Zusammensetzen der Solar-
dachplatten



Installierte Anlage Januar
2004

Bild 5: Montageserie der Solardachplatten

Nach der Platzierung der Solardachplatten wurde der Randabschluss rund um das Solarzellenfeld erstellt. Der Randabschluss besteht aus einer Blecheinfassung, in welche zur Fixierung des ganzen Solarzellenfeldes Gewichtssteine (je 8 kg) eingefügt wurden. Die Blecheinfassung wurde zu Schutzzwecken und der Ästhetik wegen mit einer Abdeckung ergänzt. An zwei Stellen wurde als zusätzliche Sicherung bezüglich der Windkräfte ein Drahtseil über die gesamte Panelfläche gespannt. Bild 6 und 7 zeigen Details der Sicherung der Solarzellenfeldes.



Bild 6: Sicherung mit Drahtseil



Bild 7: Dachrandabschluss

Da der Netzanschluss des Neubaus zum Jahreswechsel 2003/04 noch nicht endgültig erstellt war, fand die eigentliche Inbetriebsetzung der Anlage gegen Ende Januar 2004 statt.

3.2. Messdatenerfassung

Seit Februar 2004 liegen Daten der Messdatenerfassung vor.

Mit der Messdatenerfassung werden die Stundenmittelwerte folgender Messgrößen festgehalten:

Temperaturen	Umgebungstemperatur T_{Umgebung} Paneltemperatur (Rückseite des Panels) T_{Panel} Zwischen Dachhaut und Isolation der Solardachplatten $T_{\text{Isolation}}$ Zwischen Dachhaut und Kiesschicht T_{Kies}
Strahlung	Globalstrahlung mittels Strahlungssensor G
Elektrisch	Strangströme und Strangspannungen (U_1 , I_1 , U_2 , I_2) Energie DC Energie AC



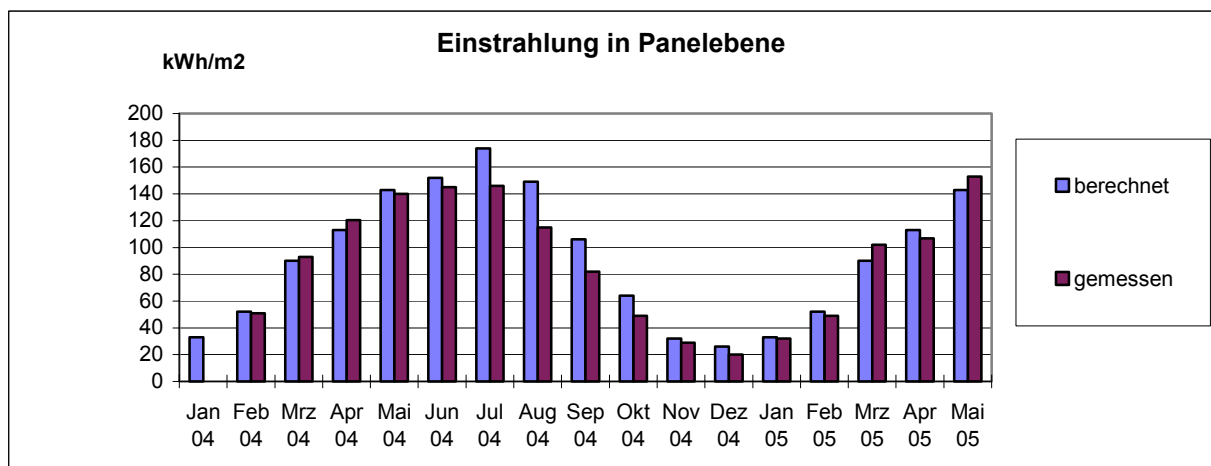
Messtation mit nachträglich montiertem Blitzschutz. Diese Konstruktion beeinflusste die Messung der Globalstrahlung, so dass sie wieder entfernt werden musste.

Bild 8: Messtation

Die Anlage funktioniert seit der Inbetriebnahme störungsfrei.

3.3. Energieertrag

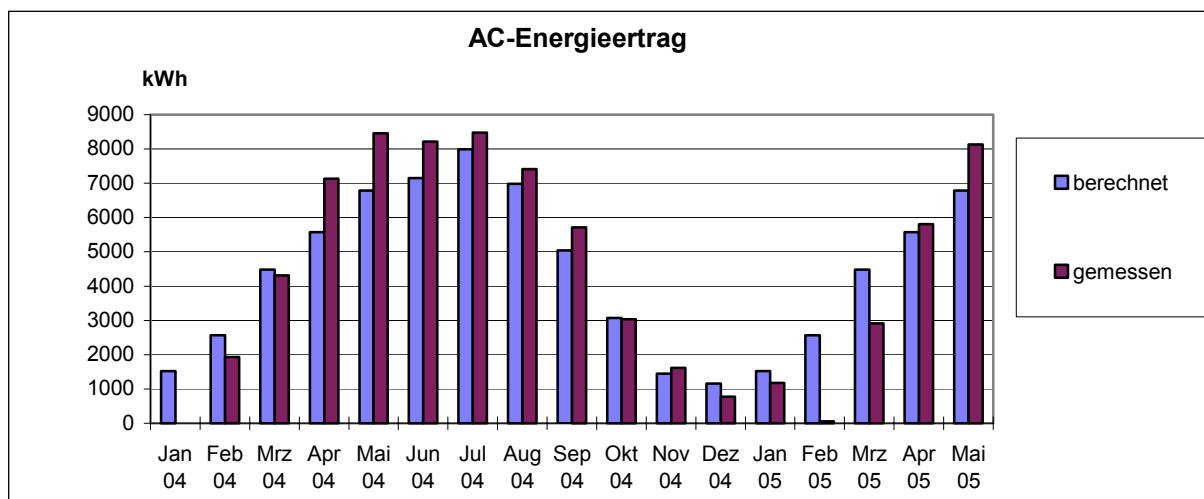
Die monatliche Datenauswertung führt zu einem Soll-Ist-Vergleich des produzierten Energieertrags. Die Grafik 1 zeigt die berechnete und gemessene Einstrahlung in die Panelebene (Globalstrahlung horizontal).



Grafik 1: Berechnete und gemessene Einstrahlung

Bei einem Kontrollgang Ende August 04 wurde festgestellt, dass ein Blitzschutz für die Messeinrichtung montiert wurde, welcher zur Beeinträchtigung des Strahlungssensors führte (Abschattung). Somit sind die gemessenen Strahlungswerte ab Frühjahr 2004 mit einem Fehler behaftet. Ein Vergleich mit den Strahlungsdaten von Luzern (Solarbahnhof) lässt den Schluss zu, dass die Einstrahlungswerte doch wesentlich höher gewesen sind. Die Blitzschutzeinrichtung wurde deshalb im Oktober 04 geändert.

Wie die Grafik 2 zeigt, weicht auch der gemessene Energieertrag von den berechneten Werten ab. In der sechzehnmonatigen Betriebsdauer der Anlage beträgt der gemessene Energieertrag 75'161kWh. Damit liegt die Produktion rund 500 kWh über dem berechneten Ertragswert. Ab dem 23. Januar bis am 15. März 2005 lag eine geschlossene Schneedecke auf der ganzen Anlage. Dies führte zu einer Ertragsreduktion im Januar, Februar und März 2005, welche insgesamt bei rund 4500 kWh gelegen haben dürfte.



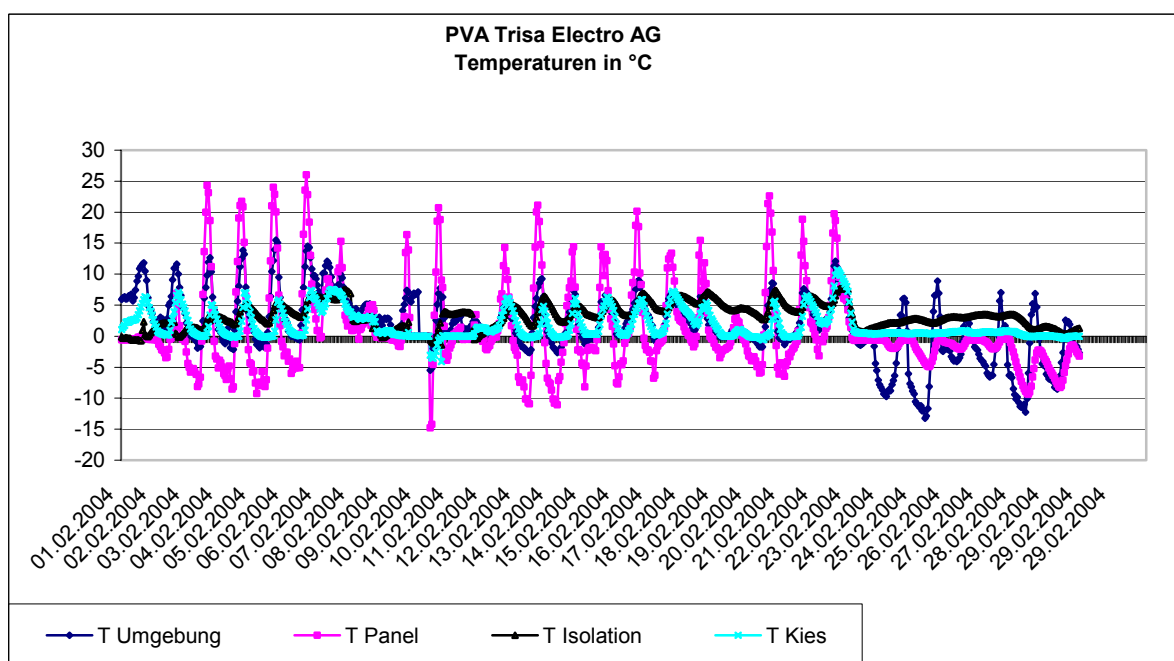
Grafik 2: Berechneter und gemessener Energieertrag (AC)

Der sonst höhere gemessene Energieertrag (AC) ist aber nicht allein auf eine erhöhte gemessene Globalstrahlung gegenüber den Rechenwerten zurückzuführen. Die Vermutung liegt nahe, dass die Berechnung mit dem Programm PVSYST recht „vorsichtig“ war.

Die Anlage lieferte von Mai 2004 bis April 2005 rund 860 kWh/kWp., was bei Berücksichtigung der Schneemenge, die fast 2 Monate lang auf den Modulen lag, ein sehr guter Wert ist.

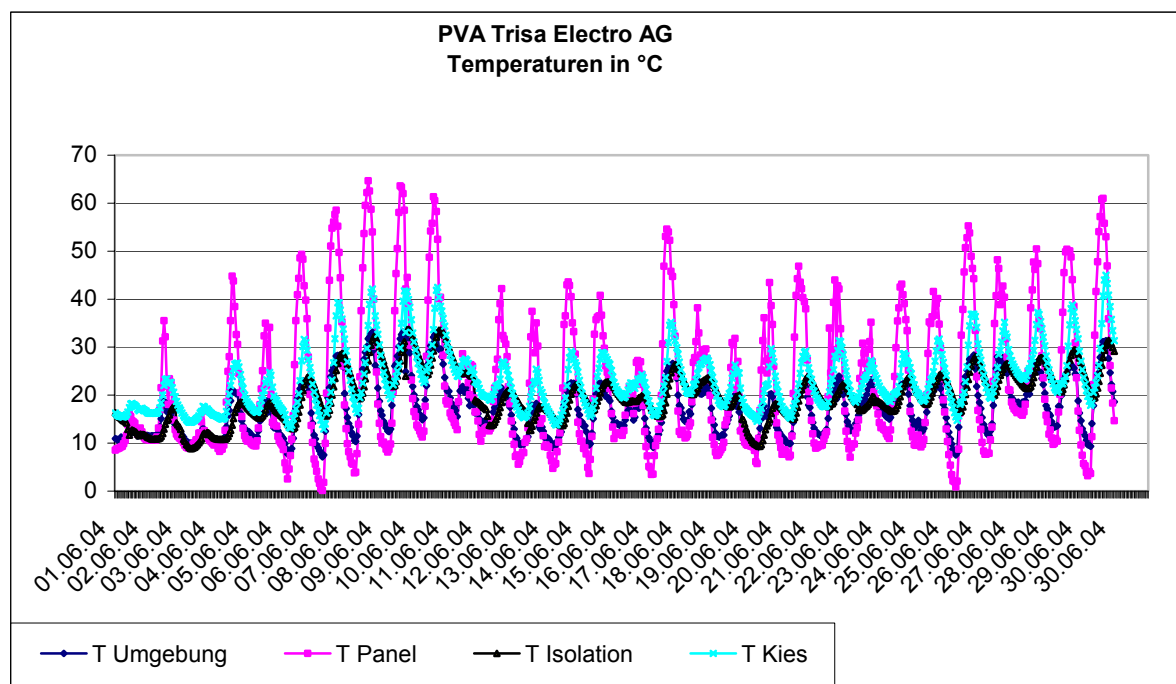
3.4. Temperaturverlauf

Dank der Isolationsschicht der Solardachplatten wird die Dachhaut vor übermäßigen Temperaturschwankungen geschützt. Diese Aussage kann mit gewissen Einschränkungen dank den durchgeführten Messungen bestätigt werden. Die Grafiken 4 und 5 zeigen die Monatsverläufe der Temperaturen (Temperatur der Umgebung, auf der Panelrückseite, auf der Dachhaut unter den Solardachplatten und unter dem Kies) in einem Wintermonat (Februar) und einem Sommermonat (Juni).



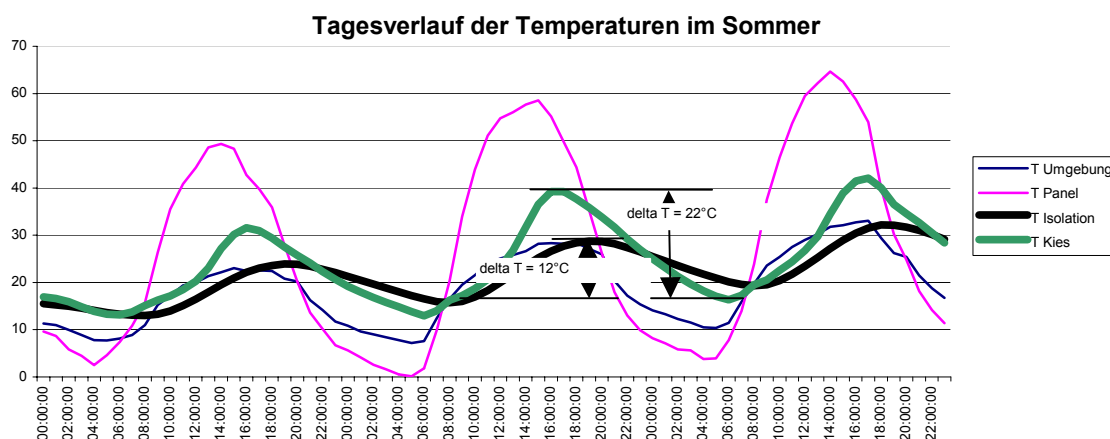
Grafik 4: Temperaturverlauf Februar 2004

Die Messungen zeigen für den Wintermonat, dass die Temperaturschwankungen zwischen Solar-dachplatte und Dachhaut kleiner sind als zwischen Kies und Dachhaut. Zudem liegt das Temperaturniveau gegenüber Kies leicht höher, was auf eine zusätzliche Isolationswirkung der Solardachplatten zurückzuführen ist. Bei Regen oder bei Tauwetter nach Eisbildungen und Schnee findet jedoch ein Ausgleich an die Temperatur des Kieses statt. Da die Solardachplatten nur auf der obersten Dachschicht aufliegen, kann Regen- und/oder Schmelzwasser zwischen die Isolation und die Bitumenbahnen eindringen. Damit ist selbstverständlich die Isolationswirkung stark verringert. Bei trockenem Wetter führt die Modulträger-Isolation zu einer 2-3 K höheren Dachoberflächentemperatur.



Grafik 5: Temperaturverlauf im Juni 2004

In den Sommermonaten liegen die Temperaturwerte beim Kiesdach über den Temperaturwerten unter der Isolation der Solardachplatten. Die Temperaturschwankungen zwischen Isolationsschicht und Dachhaut sind auch im Sommer kleiner als zwischen Dachhaut und Kies (vgl. Grafiken 4, 5 und 6). Die Solardachplatten leisten damit einen Beitrag zum sommerlichen Wärmeschutz.



Grafik 6: Temperaturverlauf im Sommer, Ausschnitt 6. bis 8. Juni 2004

3.5. Anzeigeeinheit

Mitte Juni 2005 wurde auch die Anzeigetafel in Betrieb genommen. Auf diesem „Infopanel“ werden angezeigt:

- Aktuelle Sonneneinstrahlung
- Aktuelle Leistung der Anlage (AC)
- Stromproduktion seit Inbetriebnahme der Anlage in kWh



Gut platzierte Anzeigetafel mit Messanzeige und Information beim Parkplatz

Die Anzeigetafel liefert auch Informationen zu den technischen Daten der Anlage und der am Projekt beteiligten Partnern.

4. Schlussfolgerungen und Perspektiven

Dank der guten Zusammenarbeit aller am Projekt beteiligten Partner (Bauherr: Trisa Electro AG, Architekt: Steger & Partner Architekten AG und der Fachplaner) konnte die Anlage zügig und ohne grosse Probleme realisiert und in Betrieb genommen werden.

Die Anlage mit PowerGuard-Solardachplatten kann auf einem Flachdach schnell und einfach montiert und verkabelt werden. Dank der vollständigen Integration ins Flachdach resultiert eine architektonisch ästhetisch ansprechende Anlage.

Der Energieertrag übersteigt bis heute die Erwartungen; vor allem in den Sommermonaten. Von Anfang Februar 2004 bis Ende Januar 2005 erzeugte die Photovoltaikanlage 58257kWh Solarstrom. Dies sind 933 kWh/kW.

Im Winter 2004/2005 kam es wegen der grossen Schneemenge zu einer Ertragseinbusse von rund 4500 kWh. Von Anfang Juni 04 bis Ende Mai 05 wurden 53772 kWh Solarstrom produziert, was noch einem Ertrag von 860 kWh/kW entspricht. Es stellt sich die Frage, ob und wie in Zukunft die Schneemenge schneller von den Modulen entfernt werden könnte. Zu berücksichtigen ist, dass der Winter 2004/2005 bezüglich Schneemenge überdurchschnittlich war.

Die Messungen der Temperaturen zeigen, dass die Solardachplatten einen erkennbaren Beitrag zum winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz beitragen. Die Isolationswirkung der Solardachplatten ist allerdings nur bei trockenem Wetter bedeutsam.

Die Temperaturschwankungen auf der Dachhaut liegen unter den Solardachplatten um ca. 10 K tiefer als unter dem Kies. Dies schont die Dachhaut aus Kunststoff.

Die Anzeigetafel an gut sichtbarer Stelle (Trafogebäude beim Haupteingang) informiert Angestellte, Kundinnen und Kunden der Trisa Electro AG über die Solaranlage auf dem Dach des Hochregallagers und deren aktuellen Betrieb.

Die Messungen der wichtigsten Parameter werden auch nach Projektabschluss weitergeführt. Eine Qualitätskontrolle der Anlage ist auch in Zukunft gewährleistet.

5. Referenzen / Publikationen

Richard Durot: Solardachplatten – Gebäudeintegration auf Flachdächern; Bulletin SEV/VSE 10/01