

Schlussbericht PV P+D, DIS 23703 / 68140, August 2003

11 kWp Solgreen Pilotanlage

Kombination eines begrünten Flachdachs mit einer Photovoltaik Anlage

ausgearbeitet durch:
Raimund Hächler
Ars Solaris
7000 Chur



Pilotanlage 11kWp SOLGREEN auf Flachdach

Kombination eines begrünten Flachdaches mit einer PV-Anlage

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung
2. Abstract in English
3. Ausgangslage/ziele
4. Anlagebeschrieb
5. Beschrieb Messeinrichtung und Beobachtungen
6. Hauptergebnisse
7. Schlussfolgerungen
8. Publikationen
9. Anhang

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

1. Zusammenfassung

Gründächer mit erhöhter Wasser-Retention erlauben normalerweise keine Platzierung einer PV-Anlage auf der gleichen Fläche. Daher wurde SOLGREEN entwickelt, eine Zusammenarbeit zwischen LESO-EPFL und Enecolo AG.

Im April 2000 konnte auf dem Dach einer neuen Lagerhalle am nördlichen Stadtrand von Chur eine 11kWp-Pilotanlage erstellt werden. Dank der leichtgewichtigen Tragkonstruktion resultierten geringe Transportkosten.

SOLGREEN zeichnet sich durch die folgenden hauptsächlichsten Eigenschaften aus:

- Für die Beschwerung der Tragkonstruktion wird das ohnehin aufzubringende Gründachsubstrat verwendet, was Gewicht und Transportkosten spart.
- Die Tragkonstruktion lässt sich mit den handelsüblichen Gründachsystemen bestens kombinieren.

Aufgrund optimaler Ausrichtung der Solargeneratoren und bester Betriebsbedingungen resultierte eine exzellente Performance Ratio von über 84% während der Messperiode (Mai 2001 bis April 2002).

Auch wenn sich die Pflanzen noch nicht voll entwickelt haben, hat sich klar gezeigt, dass für extensive Begrünung praktisch keine Einschränkung besteht, hauptsächlich bedingt durch die hohe Bodenfreiheit unter den Solargeneratoren (>0.45m), wodurch die Pflanzen einerseits genügend Licht und Wasser erhalten, aber andererseits die Solargeneratoren nicht beschatten. Dies ist auch vorteilhaft bei Schneefall. Der Schnee rutscht leicht ab und fällt, ohne sich zu stauen, komplett von den Solargeneratoren auf den Boden. Die Tragkonstruktion ist äusserst stabil. Es wurden keine Deformationen festgestellt.

SOLGREEN wird weiterentwickelt, wobei bereits deutliche Kostensenkungen erreicht werden konnten. Mittlerweile bieten verschiedene Hersteller unterschiedliche Systeme an. Das Projekt dauerte bis August 2003.



Bild 1: Ansicht der Anlage und des Gründaches im August 2003

2. Abstract in English

Green flat roofs as water retention reservoirs usually do not allow to install PV on the same place. The SolGreen flat roof mounting system has been developed by LESO-EPFL in co-operation with Enecolo AG.

In April 2000 the pilot installation, an 11kWp grid-connected PV plant, had been erected on the roof of the new storage hall of Josias Gasser Baumaterialien AG at Chur. The light-weight construction elements caused low transport costs.

Due to optimal exposition (tilt angle, no shadowing by plants etc, snow gliding and wind cooling), an excellent performance ratio could be registered (May 2001-April 2002, >84%). The project was completed in August 2003.

The development of the system is now going on to reduce the material costs. The use of cheap recycling materials, locally available metal profiles and a mounting construction on a modular base are elements to reduce costs and to speed up mounting.

3. Ausgangslage/Ziele

Das Projekt SOLGREEN, die Entwicklung kostengünstiger, leichter Tragkonstruktionen für Solargeneratoren auf begrünten Dächern lief unter Federführung von LESO/EPFL bereits seit einiger Zeit. Verschiedene Prototypen wurden bereits ausgetestet, als die Projektanten ein geeignetes Flachdach und einen Investor suchten, um eine Tragkonstruktion in grösserem Massstab bei einer Pilotanlage zu erproben.

Die Josias Gasser Baumaterialien AG plante einen Firmenneubau mit Büro/Verkaufsräumlichkeiten und einer grossen Lagerhalle auf dem bestehenden Firmenareal am nördlichen Stadtrand von Chur. Die Bauherrschaft will sich im Bereich des „nachhaltigen Bauens“ positionieren und innovative Komponenten und Systeme im Bauwesen anhand des eigenen Neubaus zeigen. Das Pilotprojekt SOLGREEN auf dem Firmenneubau hat zum Ziel, Dachbegrünung und Photovoltaik optimal zu kombinieren, die Dachlasten zu reduzieren, die Transportvolumina zu reduzieren, die Montage zu vereinfachen und die Systemkosten zu senken. Unter Berücksichtigung zwischenzeitlicher Weiterentwicklungen des Systems „SOLGREEN“ konnten alle Ziele erreicht werden. Allerdings sind Weiterentwicklungen für grössere Anlagen und zur weiteren Kostensenkung unbedingt nötig.



Bild 2: Neubau des Geschäftsgebäudes mit Lagerhalle der Josias Gasser Baumaterialien AG: SIA-Preis 1999, Schweizerischer und Europäischer Solarpreis 2000

4. Anlagebeschrieb

Die Anlage ist eine Solarstrom-Netzverbundanlage mit einer installierten Leistung von 11.1 kWp. Für die Erprobung des Systems „Solgreen“ ist dies die minimal notwendige Leistung mit einer aktiven Solarzellenfläche von ca. 100m². Diese Anlage belegt nur einen Teil der grossen Dachfläche, weitere Teile werden genutzt für eine solarthermischen Anlage für die Warmwasseraufbereitung (Das Verwaltungsgebäude benötigt keine aktive Heizung), zwei PV-Anlagen für die Solarstrombörse Chur/Zürich sowie verschiedene Flächen zur Erprobung von Dachbegrünungssystemen.

Der Standort der Pilotanlage ist optimal, weil

- das solare Strahlungsangebot an nebelarmer Lage gut ist,
- die private Bauherrschaft den nicht vom BFE finanzierten Teil der nicht amortisierbaren Kosten trägt, und
- das System auf einem Neubau aufgebaut werden konnte.



Bild 3: Ansicht aus der Nähe

Die Anlage besteht aus folgenden Komponenten:

- Tragkonstruktion für die Solargeneratoren:

Von der EPFL Lausanne entwickeltes System aus Edelstahlprofilen und einer Kunststoffwanne zur Aufnahme von Kies für die Beschwerung als Gegengewicht zur Windlast. Zu diesem System gehört das Gründachsystem von Zinco für extensive Begrünungen, wobei auch intensive Begrünungen ohne weiteres möglich sind.

- Solargeneratoren

96 Module des Typs Solarex GSX116, gerahmte Module, die hochkant in die Tragkonstruktion montiert werden.

- Netzverbundwechselrichter

2 Geräte vom Typ Sunways 5.01i, trafolose, selbstgeführte Netzverbundwechselrichter mit einem europ. Wirkungsgrad von über 96%, geeignet für die Aussenaufstellung.

- Zubehör

Das notwendige Zubehör wie Verkabelung, Erdung und Blitzschutz sowie Netzeinspeisung.

Die Anlage wurde von 5 Personen innert einem Tag aufgestellt. Für die Verkabelung und den Netzanschluss benötigten 3 Personen weitere zwei Tage.

5. Beschrieb Messeinrichtung und Beobachtungen

Folgende Grössen werden gemessen:

- Umgebungstemperatur
- Oberflächentemperatur Solargenerator-Rückseite
- Oberflächentemperatur Solargenerator-Rückseite, mit Sofrel aufgeständert (Vergleich)
- Windgeschwindigkeit
- Windrichtung
- Solarstrahlung in Generatorebene
- AC-Leistung am Netzeinspeisepunkt

Das Messsystem bestand aus einem Datalogger MODAS mit kalibrierten Messfühlern. Es wurden 10-Min.-Mittelwerte gespeichert. Die Daten sind lückenlos von Mai 2001 bis April 2002 vorhanden.

Nebst den automatischen Messungen sind besonders folgende Beobachtungen interessant:

- Einfachheit der Montage
- verwendete Materialien zur Beschwerung
- Gründach-Systemaufbau
- Bewuchs des Gründaches
- Beständigkeit der Tragkonstruktion: Korrosion, Stabilität

6. Hauptergebnisse

Montage

Die Montage der Tragkonstruktion und der Solargeneratoren war rasch und effizient. Voraussetzung dafür waren die im voraus bekannten Abmessungen, da alle Teile auf Mass zugeschnitten angeliefert worden waren. Dies ist ein Nachteil, müssen doch häufig auf Flachdächern ohne grossen Zeitverlust Änderungen der Aufstellung vorgenommen werden, da kleine Dachaufbauten, wie z.B. Abluftkamine, im Weg sind.

Die Beschwerungswanne von SOLGREEN (eine leichte Kunststoffwanne, die mit Kies oder Gründachsubstrat gefüllt wird zur Beschwerung der darunter hindurchlaufenden Tragprofile) passt optimal zu den Gründachelementen von ZINCO. Mit wenig Verschnitt konnten auch die Bestandteile des Gründachaufbaues zwischen den SOLGREEN-Wannen verlegt werden, womit die ganze Fläche sehr homogen in Erscheinung tritt.

Die elektrische Verkabelung sowie die Wechselrichteranschlüsse wurden konventionell montiert.

Allgemein ist festzuhalten, dass die aufwändigen Montageschritte (Personal, Kran) sehr effizient und rasch ablaufen. Im Anhang befindet sich eine Bilddokumentation über den Ablauf der Montage.

Gründach-Systemaufbau

Dachbegrünungen dienen je nach Aufbau verschiedenen Zwecken:

- Wasser-Retention bei Starkniederschlägen
- Temperatenausgleich auf dem Dach und damit Schonung des Daches sowie Überhitzungsschutz für das darunterliegende Geschoss
- Ökonomie für Pflanzen und Kleinlebewesen, zusätzliche Gartenfläche und Erholungsraum

Zur Erfüllung dieser Zwecke werden unterschiedliche Anforderungen an das Gründach-System gestellt. Zur Vermeidung von Schattenwurf auf die Solargeneratoren werden in Kombination mit Solaranlagen in der Regel extensive Begrünungen mit niedrigem Pflanzenwuchs und niedrigem Deckenaufbau eingesetzt. So auch die SOLGREEN-Pilotanlage: Der Deckenaufbau besteht aus (von unten nach oben): Dachfolie und Wurzelschutzfolie als Schutzelemente für das darunter liegende Dach, Speicherschutzmatte und Dränschicht als Wasserspeicherelemente, Filtervlies als Trennschicht zwischen Substrat/Humus und dem Unterbau, Gründachsubstrat und je nach gewünschter Bepflanzung mehr oder weniger Humus. Die Pflanzen erreichen eine Höhe von ca. 15cm, in Ausnahmefällen ca. 25cm. Die Bodenfreiheit (Boden – Unterkante Solargeneratoren) beträgt rund 45cm, womit für abrutschenden Schnee genügend Stauraum vorhanden ist, zumindest in Regionen mit wenig Schneefall (Schweizer Mittelland bis ca. 800mü.M.) Im Bereich der Tragkonstruktion wird die spezielle SOLGREEN-Platte anstelle der Dränschicht montiert und mit Kies eingefüllt. Damit können die von der Tragkonstruktion einwirkenden Windkräfte abgeleitet werden. Pro m² SOLGREEN-Platte können rund 200kg Beschwerungsmaterial eingebracht werden. Die Anordnungen der Dränschicht resp. der SOLGREEN-Platten passen dabei optimal zueinander, es ergibt sich eine ebene und homogene Oberfläche.

Die Solargeneratoren werden hochkant an die Tragkonstruktion montiert und bilden so eine Reihe. Mehrere Reihen können über die verlängerten Füße der Tragkonstruktion miteinander verbunden werden und erhöhen die Stabilität. Um die Windlasten gemäss Norm SIA160 ableiten zu können, kann die Anzahl Tragstützen und damit SOLGREEN-Platten und/oder das einzufüllende Kiesgewicht variiert werden.

Bewuchs des Gründaches

Obwohl das Dach mittlerweile drei Vegetationsperioden (2000-2002) erlebt hat, ist der Pflanzenbewuchs nicht eben stark, verglichen mit dem benachbarten Gründach, das nebenan im Herbst 1999 eingesät worden war. Keine Pflanze ist so hoch, dass sie Schatten auf die Solargeneratoren wirft.



Bild 4: Pflanzenbewuchs unter den Solargeneratoren

Beständigkeit der Tragkonstruktion, Stabilität

Trotz des sehr leichten und filigranen Aufbaus ist die Edelstahl-Tragkonstruktion sehr stabil. Es traten keine Verschiebungen der Tragkonstruktion oder sonstigen Veränderungen auf, die auf Schnee- oder Winddruck zurückzuführen wären. In der Beobachtungsperiode traten weder grosse Stürme auf, noch fiel überdurchschnittlich Schnee, sodass in diesen Punkten keine abschliessende Aussage gemacht werden kann.

Automatische Messungen

Solarstrahlung/Anlagenertrag

Die Anlage lief während der Messperiode praktisch ohne Unterbruch. Der spezifische Anlagenertrag ist phänomenal hoch und erreicht 1222kWh/kWp/y in der Zeit von Mai 2001 bis April 2002 und ist auch nach Abschluss der Messperiode, trotz sehr unterdurchschnittlicher Solarstrahlung in der zweiten Jahreshälfte 2002, immer noch sehr hoch.

Die Performance ratio erreicht für dieselbe Periode über 84%, bezogen auf die Nennleistung der Solargeneratoren. Vermutlich hat der Hersteller ausnahmsweise Module geliefert, deren Leistung deutlich über der spezifizierten liegt. In nachstehender Tabelle sind die Erträge der einen Anlagenhälfte aufgelistet. (installierte Leistung 11.1kWp, davon ausgemessen 5.56kWp).

2001/02	Tage	Global- strahlung	Ø Wind- geschw.	Energie Inverter	Referenz Ertrag	Anlagen Ertrag	Performance Ratio
		h_i		e_{io}	Y_r	Y_f	pr
	d	kWh/m ²	m/s	kWh	kWh/m ² *d	kWh/kWp/d	
Mai	31	178.7	2.6	824.0	5.76	4.77	82.8%
Jun	30	167.6	2.5	780.7	5.59	4.67	83.7%
Jul	31	172.5	2.3	792.0	5.57	4.59	82.4%
Aug	31	171.4	2.3	783.5	5.53	4.54	82.1%
Sep	30	98.1	2.0	463.3	3.27	2.77	84.8%
Okt	31	118.3	1.6	562.0	3.81	3.26	85.4%
Nov	30	63.1	1.5	293.4	2.10	1.76	83.5%
Dez	31	57.3	1.6	272.0	1.85	1.58	85.2%
Jan02	31	91.1	1.3	446.6	2.94	2.59	88.1%
Feb	28	75.8	2.0	356.3	2.71	2.29	84.4%
März	31	135.7	2.4	666.4	4.38	3.86	88.2%
April	30	143.6	2.2	703.4	4.79	4.21	88.0%
Summe	365	1473.2	—	6943.6	—	1247	—
Durchschnitt			2.02		4.04	3.42	84.7%

Tabelle 1: Solarstrahlung, Ertragswerte, Performance ratio

Temperaturen

Nebst der Umgebungstemperatur und der Solarzellen-Oberflächentemperatur wurde auch die Oberflächentemperatur an einem mit Sofrel aufgeständerten Solargenerator gemessen. Dabei zeigte sich, dass die Oberflächentemperaturen bei der SOLGREEN-Aufständering während Zeiten mit hoher Sonneneinstrahlung rund 2-3K niedriger sind als bei der Sofrel-Aufständering. Dies aufgrund besserer Hinterlüftung und geringerem Einfluss des von der Sonne erwärmten Bodens. Damit kann ein um ca. 1% höherer Ertrag erzielt werden.

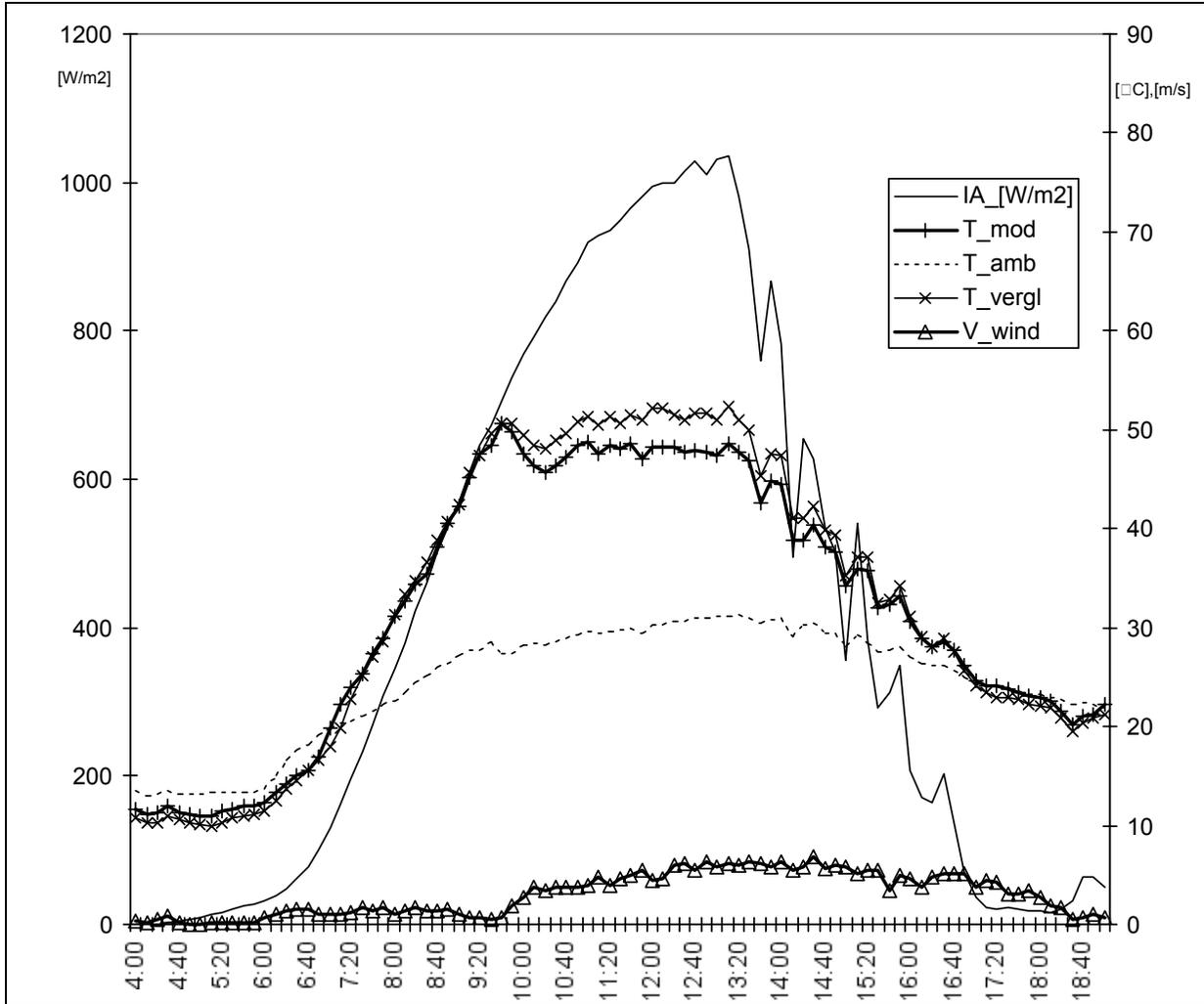


Bild 5: Temperaturverlauf Sommertag (30.6.2001)

Aus Bild 5 sind folgende Erkenntnisse ersichtlich:

- Aufgrund höherer IR-Abstrahlung sind die Oberflächentemperaturen nachts tiefer als die Umgebungstemperatur
- Bei Einsetzen des Windes (ab ca. 10 Uhr MEZ) sinkt die Oberflächentemperatur trotz weiter steigender Sonneneinstrahlung
- Die Oberflächen-Vergleichstemperatur (Aufständigung SOFREL) ist bei hohen Einstrahlungen ca. 2-3K höher. Der Wind vermag die Solarzellen bei der SOLGREEN-Aufständigung deutlich besser zu kühlen.

Wind

Die Anlage liegt im Talboden des Churer Rheintales, weshalb praktisch nur Wind in der Talachse auftritt, mit Vorzugs-Windrichtung aus N. Während der Messperiode traten keine aussergewöhnlichen Stürme auf. Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit von 2m/s während der Messperiode (gemessen auf 2m über Dach, bei einer Gebäudehöhe von 12m) lässt ebenfalls auf ein windschwaches Jahr schliessen. Die Mit 15m/s wurde am 24.2.2002 die höchste Windgeschwindigkeit gemessen, wobei nur 10Min.-

Mittelwerte gespeichert wurden. Der Standort der Windmeseinrichtung war für unsere Zwecke optimiert worden (2m über Dach, nahe der nördlichen Dachkante). Hier werden die für die Aufständierungen relevanten Verwirbelungen am besten erfasst. Allerdings können diese Daten keinesfalls mit den Meteodaten verglichen oder etwa für die Evaluierung einer Windenergieanlage verwendet werden.

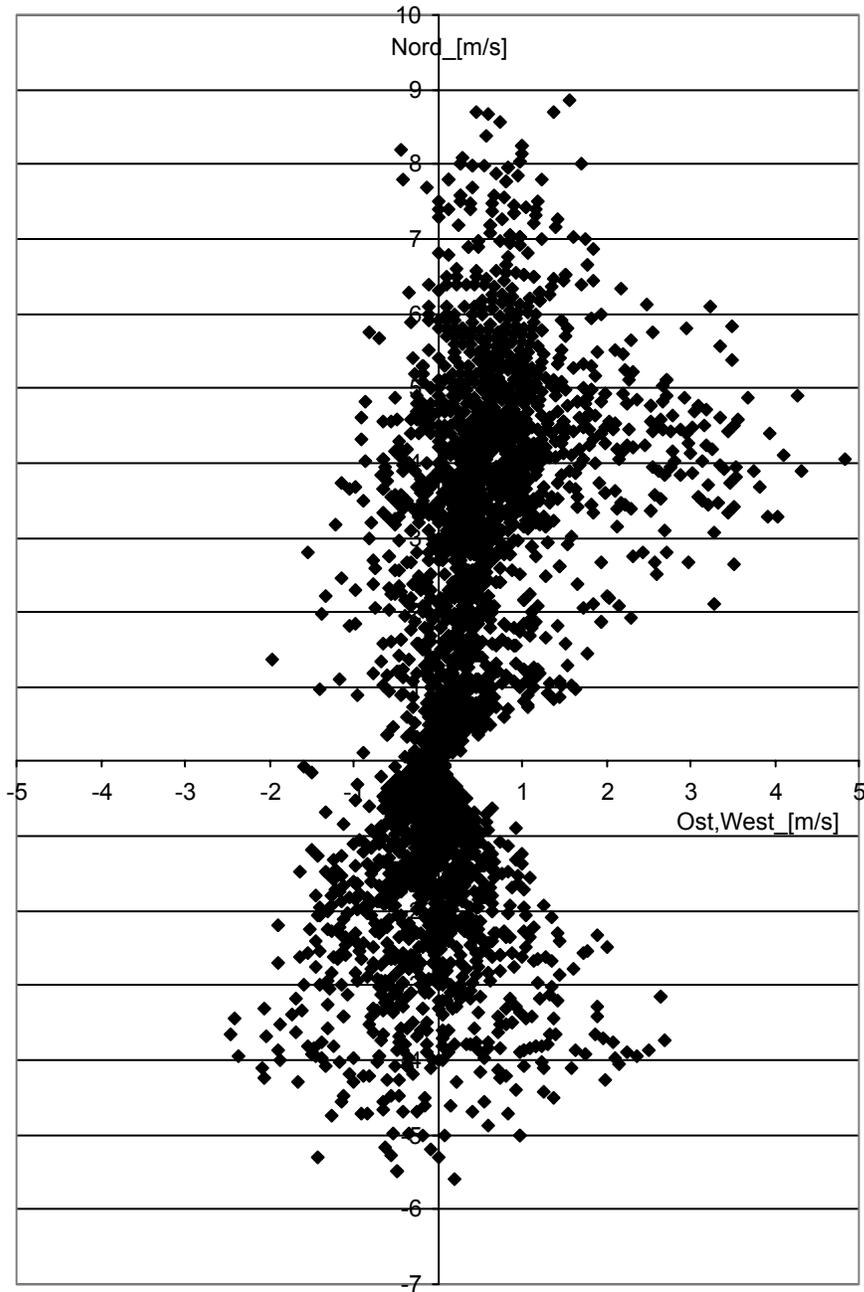


Bild 6: Windverteilung April 2002

7. Schlussfolgerungen

Die an das Projekt gestellten Erwartungen konnten weitgehend erfüllt werden. Die Kombination von Gründach und Solaranlage bewährt sich bestens. Die beiden unterschiedlichen Nutzungen behindern sich gegenseitig kaum, für die PV-Anlage ergeben sich eher leichte Vorteile wegen der höheren Bodenfreiheit. Daraus ergeben sich leicht kühlere Temperaturen und weniger liegen bleibender Schnee. Durch die höhere Bodenfreiheit ist die Diffusstrahlung in der Modulebene grösser, da der Solargenerator mehr Himmel „sieht“. Ausgehend von der Erstentwicklung von SOLGREEN mit einzelnen gebogenen Edelstahlprofilen für jedes Modul gelang durch diese Weiterentwicklung eine markante Kostensenkung. Mittlerweile konnten dank weiterer Entwicklungsschritte die Kosten nochmals stark gesenkt werden. Entscheidend dafür sind kostengünstige Komponenten wie Kunststoffplatten zur Beschwerung mit Kies oder Granulat aus Rezyklat oder lokal zu beschaffende Metallprofile. Auch andere Anbieter als jene von SOLGREEN haben von der Entwicklung profitiert und bieten Systeme in verschiedensten Variationen an (Bild 7).



Bild 7: Weiterentwicklung „Davoser Sonne“ mit 0.9m Bodenfreiheit

Abschliessend können wir festhalten, dass dieses Projekt einiges ausgelöst hat, sei es im Bereich der Dachbegrünung, oder um Solaranlagen auch an Orten mit relevanten Schneemengen auf Flachdächern installieren zu können.

8. Publikationen

Jahresberichte 1998 – 2002

Poster „PV-Anlagen auf Gründächern“ anlässlich der nationalen PV-Tagung 10./11. Nov. 1999

Paper „Solartechnik im Einklang mit der Dachbegrünung“ anlässlich des internat. Gründach-Symposiums 3./4. Okt. 2001 in Altenrhein/Schweiz.

9. Anhang

A1 Bilddokumentation Montage

Pilotanlage 11kWp SOLGREEN auf Flachdach

Anhang 1 Bilddokumentation Montage der Anlage



Bild A1
Auslegen der Dachfläche mit
Gummischrotmatten,
Aufstellen und Verschrauben der
Edelstahl-Tragkonstruktion



Bild A2
Auslegen der SOLGREEN-
Formteile über die Standfüsse der
Tragkonstruktion



Bild A3/A4
Montage der Solargeneratoren und
definitives Fixieren der Querprofile



Bild A5
Die Formteile werden mit Kies zur Beschwerung gefüllt.



Bild A6
Aufbau des Gründach-Systems,
anschliessend eindecken mit
Substrat aus Ziegelschrot und
Humus



Bild A7
Die fertige Anlage, nach drei
Vegetationsperioden