



Schlussbericht 27. November 2008

SOLIGHT

UNTERSUCHUNG LEICHT- MODULAUFSTÄNDERUNGEN FÜR KIES- FLACHDÄCHER



Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Photovoltaik
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

energiebüro® ag für Solarkraftwerke
Hafnerstrasse 60
CH-8005 Zürich
www.energieburo.ch

Autoren:

Christian Meier, Roland Frei, Kevin Arm, office@energieburo.ch

BFE-Bereichsleiter: Stefan Oberholzer / **BFE-Programmleiter:** Stefan Nowak

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 150134 / 100116

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

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	2
2. Abstract.....	2
3. Ausgangslage	3
4. Ziel der Arbeit	4
5. Anlagenbeschrieb	7
Allgemeines	7
Aufständervarianten	8
6. Hauptergebnisse.....	16
ROLLOUT: Flies mit Befestigungslaschen.....	16
GW-PLATTE Schrittbetonplatten-Stütze	16
Monitoring	16
7. Schlussfolgerungen / Perspektiven	17
8. Publikationen	17
9. Symbolverzeichnis	17
10. Referenzen	17
11. Anhang.....	18
Flyer Solarstrom der J.H. Keller AG Zürich	18
Pläne.....	19

1. Zusammenfassung

Die Zusatzlast, die durch eine Photovoltaik-Anlage zusätzlich auf ein Flachdach gebracht wird, stellt bei gewissen Gebäudetypen ein Problem bzgl. der statischen Reserven dar. Mit den heute vorhandenen Aufständermethoden können solche Dächer nicht für die Nutzung von Sonnenenergie verwendet werden.

Ziel des vorliegenden Projektes war es, die Möglichkeit der Nutzung von Flachdächern mit geringen statischen Reserven als Standorte für PV-Anlagen zu sichern. Die Hauptinnovation bei der Entwicklung des neuen Aufständersystems SOLight bestand darin, die zum Garantieren der Windfestigkeit (nach SIA-Norm 160/1) nötige Schwerlastfundation durch die bereits vorhandene Eigenlast des Daches möglichst vollständig zu kompensieren. Somit konnte eine Minimierung der zusätzlich auf das Dach aufgebrachten Lasten um Faktor 3 bis 5 erreicht werden. Die das Modul haltende Unterkonstruktion sollte fast kein Eigengewicht haben, damit das auf das Dach aufgebrachte Zusatzgewicht minimal gehalten werden kann.

Ziel war es, die grosse Anzahl von Flachdächern mit geringer statischer Reserve ebenfalls der Ausrüstung mit PV-Anlagen zugänglich zu machen und zudem das mögliche Einsparpotential an Ressourcen und Kosten voll auszunutzen.

2. Abstract

The additional load of a PV plant on a flat roof represents a problem by certain types of buildings concerning the static reserves. Such roofs can not be used today to produce solar power with the existing mounting systems for solar PV modules.

A goal of the project was to find a way to secure the possibility of flat roofs with critical static reserves as locations for PV plants. The main innovation of the development of the new mounting system SOLight consists the compensation of the usually needed additional weight of the mounting system – for guarantee the heavy wind loads according to SIA standard 160/1 – by the already existing dead load of the roof. This compensation allows a minimisation of the additional weight brought on the roof by the mounting system by a factor 3 to 5. The PV module holding structure itself should have almost no weight, so the additional weight brought onto the roof would remain minimal

The main goal was to make the large number of flat roofs with critical static reserves accessible for the equipment with PV plants and at the same time to reduce the resources consumption and the manufacturing costs of the mounting systems.

3. Ausgangslage

Die zusätzliche Gewichtskraft, welche durch die Schwerlastfundation bei Flachdach-Photovoltaik-Anlagen auf die Dachkonstruktion ausgeübt wird, stellt bei einer grossen Anzahl von Flachdächern ein Problem dar. Einerseits ist aus statischen Gründen zwingend erforderlich, dass die Solarmodule eine gewisse Schwerlast – berechnet nach den erforderlichen Windlasten gem. SIA 160/1 oder äquivalent – aufweisen. Andererseits ist erwünscht bzw. gefordert, dass die Zusatzlast so gering gehalten wird, dass die statische Sicherheit der Tragstruktur des Gebäudes nicht beeinträchtigt wird.

Dabei spielt das Verhältnis zwischen externem Zusatzgewicht und ausgenutztem Dacheigen-
gewicht eine entscheidende Rolle. So bringt z.B. ein bekanntes Beton-Flachdach-
Solarmodulmontagesystem rund 33 kg zusätzliches Extragewicht pro Quadratmeter auf das
Dach, um die Anforderungen analog SIA 160 zu erfüllen. Bei ähnlichem System in Faserzement
sind es immer noch 16 bis 23 kg/m². Beim von einer holländischen Firma entwickelten und in
ganz Mitteleuropa vertriebenen System in Kunststoff sind es mindestens 18 kg/m². Für viele
bestehende Dachkonstruktionen ist dies eine zu hohe Zusatzbelastung, weshalb auf den Bau
einer PV-Anlage verzichtet werden muss.

Bei vielen mit Leichtkonstruktion gebauten Flachdächern, die wegen ihrer Grösse und Beschat-
tungsfreiheit oft ideale Standorte für die Erstellung von PV-Anlagen darstellen, ist das Problem
der zulässigen Zusatzlasten entscheidender Faktor. Da bei allen heute bestehenden Modul-
montagesystemen die zusätzliche vom Dach zu tragende Last zu gross ist, um die geforderten
Windlastfestigkeit garantieren zu können, muss aus statischen Gründen oft auf die Erschlies-
sung dieser Flachdächern durch Photovoltaik verzichtet werden.

4. Ziel der Arbeit

Mit der Entwicklung des neuen Aufständersystems SOLight wurde die Erschliessung dieser Flachdächer mit nur minimaler statischen Reserve ermöglicht. Die Hauptidee beim SOLight besteht darin, sich mit der möglichst vollständigen Kompensation der benötigten Schwerlast durch die bereits bestehende Eigenlast des Daches (Rundkies) zunutze zu machen. Dies ist möglich, da bei der überwiegenden Mehrzahl der Flachdächer (Warmdach, Verbunddach, Umkehrdach, Kaltdach, udgl.) die oberste Schutz- und Beschwerungsschicht aus Rundkies besteht. Diese in der statischen Auslegung des Daches bereits mitgerechnete Last wird als Schwerlastfundation für die Module benutzt. Mit SOLight kann man auf jedem Kiesflachdach mit nur sehr bescheidenen Zusatzlasten (nur Eigengewicht der Solarmodule und der Aufständerung) die benötigte Schwerlast erreichen. Dies erhöht das vorhandene Dachpotential für PV-Anlagen und bedeutet einen weiteren Schritt Richtung nachhaltige Energiezukunft gem. EnergieSchweiz.

Sinnvollerweise wurde das Projekt in 2 verschiedene Phasen aufgeteilt: in ein Entwicklungsprojekt, sowie ein folgendes Pilot- und Demonstrationsprojekt, worüber vorliegender Bericht Rechenschaft abgibt.

Der erste Teil des Projektes beschäftigte sich mit der Entwicklung der neuen Aufständermethode: Klären der Anforderungen, Erarbeiten des Pflichtenheftes und der technischen Lösungsansätze, Definition der Beurteilungskriterien und deren Überprüfung, Prototypen erstellen und validieren der Ansätze.

Anschliessend wurde als Phase 2 eine Pilot- und Demonstrationsanlage installiert. Dieser zusätzliche Schritt erlaubte es, weitere Verfeinerungen 'in vivo' vorzunehmen.

Im Hinblick auf die Erstellung einer PV-Anlage liegt die Problematik der leichten Flachdächer nicht nur in der unzureichenden Statik des Daches, sondern meist auch in der oft recht dünnen Kiesschicht. Normalerweise besitzt ein Kiesflachdach eine Abschlusschicht von rund 5 cm Kies. Bei gewissen Flachdächern ist die Schichtdicke aber mit nur 2 - 3 cm noch deutlich geringer.

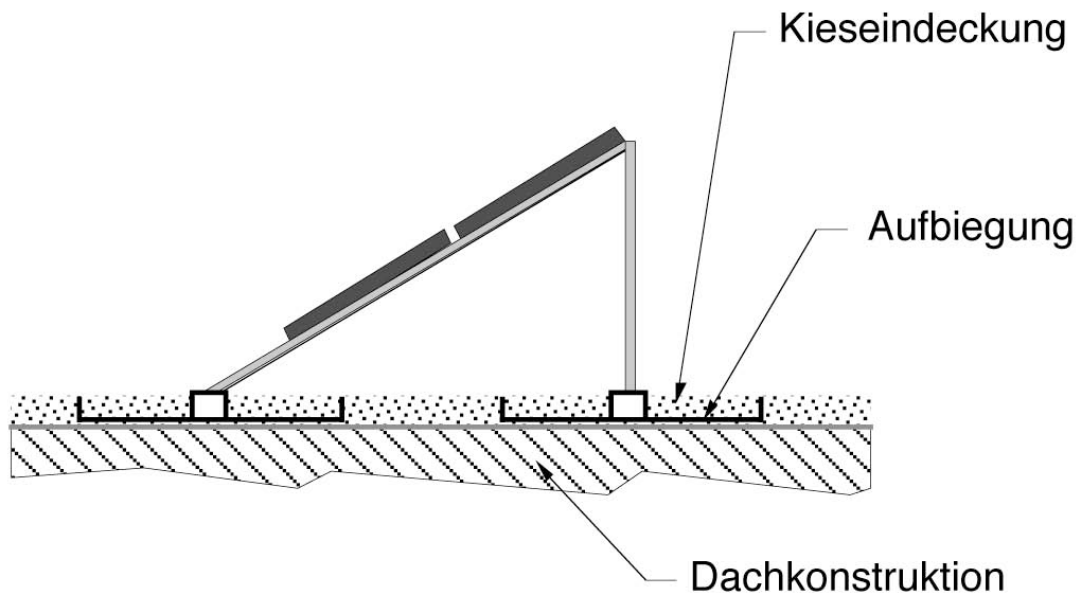


Bild 1. Prinzip Flachdach-Fundationsschalen SOLight, konzeptionelle Anwendung: die bestehende Kiesschicht wird von der benötigten Fläche für die Fundationsschalen beiseite geschoben; die SOLight-Schalen werden mit Unterlagsmatten auf die Flachdachhaut versetzt; das zuvor entfernte Kies wird wieder regelmässig in die montierten Fundationsschalen verteilt. Da SOLight-Elemente sehr leicht sind und auf der ganzen Fläche voll aufliegen, entstehen keine gefährlichen Punkt- oder Kantenbelastungen, welche die darunterliegende Dichtigkeitsschicht verletzen könnte.

Nach Rücksprache mit verschiedenen Bauingenieuren wurde bestätigt, dass die vorgeschriebene Berechnungsgrösse für Schneelast nach SIA-Norm 160/1 in den letzten Jahren allgemein erhöht wurde, z.B. im Raum Zürich auf ca. 100 kg/m². Dies bedeutet, dass die meisten der bestehenden Dachkonstruktion ursprünglich für geringere Schneelasten ausgelegt wurden und deshalb heute über geringere statische Reserven für Zusatzbelastungen verfügen als nach alter Berechnungsgrösse. Das Dach einer Fachschule für das Elektroinstallationsgewerbe ist dafür ein geeignetes Beispiel: ideal gelegen, keine Dachaufbauten, freier Horizont, mit grosser nach Süden freier Dachfläche, aber mit nur noch geringem maximalem Zusatzgewicht von ca. 15 kg/m². Kein bis dato bekanntes herkömmliches Solarstrommodul-Montagesystem konnte hier eingesetzt werden¹.

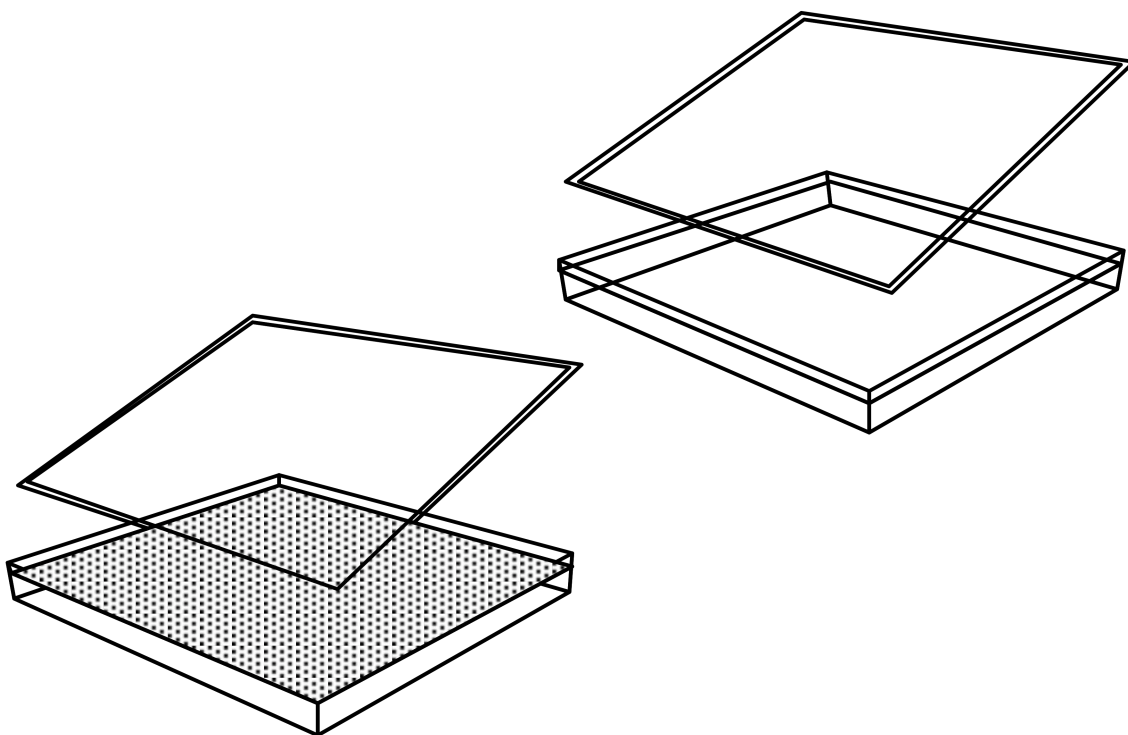


Bild 2. Prinzipielle 3-D-Ansicht der Flachdach-Fundationsschalen SOLight; rechte obere Fundationsschale ist schematisch leer dargestellt, die linke untere schematisch mit Dachkies aufgefüllt

Flachdächer neueren Datums werden normalerweise mit einer Kiesschicht von rund 5 cm eingedeckt. Ältere Gebäude weisen auch eine Kiesschicht von 5 bis 8 cm auf. Bestimmte Gebäude, z.B. die 1938 erstellte Bahnhofshalle im HB Zürich, weist aber nur eine Kiesschichtdicke von rund 3 cm auf und besitzt nur geringe statische Reserven von wenigen kg/m².

Ältere Dachkonstruktionen weisen zudem oft auch deshalb geringere statische Reserven bzgl. Zusatzgewichte auf, da sie im Laufe der Zeit saniert werden und dabei oft mit zusätzlichen Anforderungen wie nachträglich hinzugefügter Wärmedämmung oder neuen Dachaufbauten (Dachfenster, Rückkühler udgl.) belastet werden. Deshalb ist es heute auch auf normalen Flachdächern oft nicht mehr möglich, neue Zusatzlasten anzubringen.

Obwohl bis zu diesem Zeitpunkt schon verschiedene Aufständersysteme auf dem Markt angeboten wurden, konnten diese Systeme bei einem beträchtlichen Teil der bestehenden Dächer nicht eingesetzt werden. Diese Systeme nutzen das Eigengewicht (Kies) des Daches nicht oder zu wenig aus, um die Windlastfestigkeit zu garantieren, und mussten so Zusatzgewicht in Form von Ballast aufwenden.

¹ Erst mit der Markteinführung von Recyklat-Kunststoffplatten eines inzwischen europaweit führenden schweizer Herstellers war dies erstmals möglich.

Die Erstellung von neuen PV-Anlagen auf Flachdächern kann nur zum Teil auf Neubauten erfolgen, bei denen ggf. die Dachkonstruktion schon im Planungsprozess entsprechend verstärkt vorgesehen wird. Bei der Grosszahl der zu realisierenden Anlagen wird aber auf den bestehenden Gebäudepark zurückgegriffen werden müssen.

Zudem ist im Sinne einer Ökoeffizienz darauf zu achten, dass der Materialumsatz (MIPS = Material Intensity per Service Unit) möglichst niedrig gehalten wird. Diese Anforderung dürfte mit System gemäss vorliegendem Ansatz im Vergleich zu anderen Systemen mit Abstand am besten erfüllt werden.

Gemäss Analyse von verschiedenen Aufständerungs-Systemen war die Ausnutzung eines Teiles des Dacheigengewichtes zur Sicherung der Schwerlast erst beschränkt möglich. Bei allen Systemen ist die Grundfläche zu klein, um die vorgegebene Schwerlast nur unter Verwendung des auf dem Dach ohnehin vorhandenen Kiesel, also ohne Hinzufügung von zusätzlichem Ballast zu ermöglichen.

Der hier diskutierte Ansatz bietet dabei entscheidende Vorteile: Die Grundfläche der Aufständerung ist wesentlich grösser machbar, sodass auch auf einem Flachdach mit einer Kiesschicht von nur 3 oder 5 cm Höhe der maximale Anteil der sicherzustellenden Windlast-Sicherheit durch das Eigengewicht des Kiesel gedeckt wird. Dadurch wird die effektive Dachbelastung um Faktor 3 bis 5 verringert.

Das Eigengewicht der Aufständerungskonstruktion wird sehr gering gehalten, sodass das effektive Zusatzgewicht (Gewicht des Solarmodul und der Aufständerungskonstruktion) sehr klein bleibt. Bei der Verwendung von SOLight-ähnlichen Konstruktionen kann zudem Zusatzmaterial gespart werden.

5. Anlagenbeschrieb

ALLGEMEINES

In dem Projekt wurden zwei aus einem Forschungsprojekt resultierende Aufständigungsansätze als Prototypen in unterschiedlichen Ausführungen auf einem Flachdach installiert, ausgemessen und beobachtet.



Bild 3. Gesamtansicht der P+D Anlage während dem Bau mit SOLight-GW-PLATTE (vorne) sowie SOLight-ROLLOUT hinten auf dem Dach der Egolf Verpackungs AG in Zürich

Beide Unterkonstruktionsvarianten nutzen maximal das bestehende Dacheigengewicht der z.T. gesetzlich vorgeschriebenen Dacheindeckung zur Erreichung der geforderten Wind- und Schneelastfestigkeiten aus.

AUFSTÄNDERUNGSVARIANTEN

SOLight-ROLLOUT: Flies mit Befestigungslaschen

Auf herkömmliche Folien, wie sie im Bausektor benützt werden sind Laschen angebracht, an denen Solarmodule mit einer Leichtgewichts-Unterkonstruktion befestigt werden.

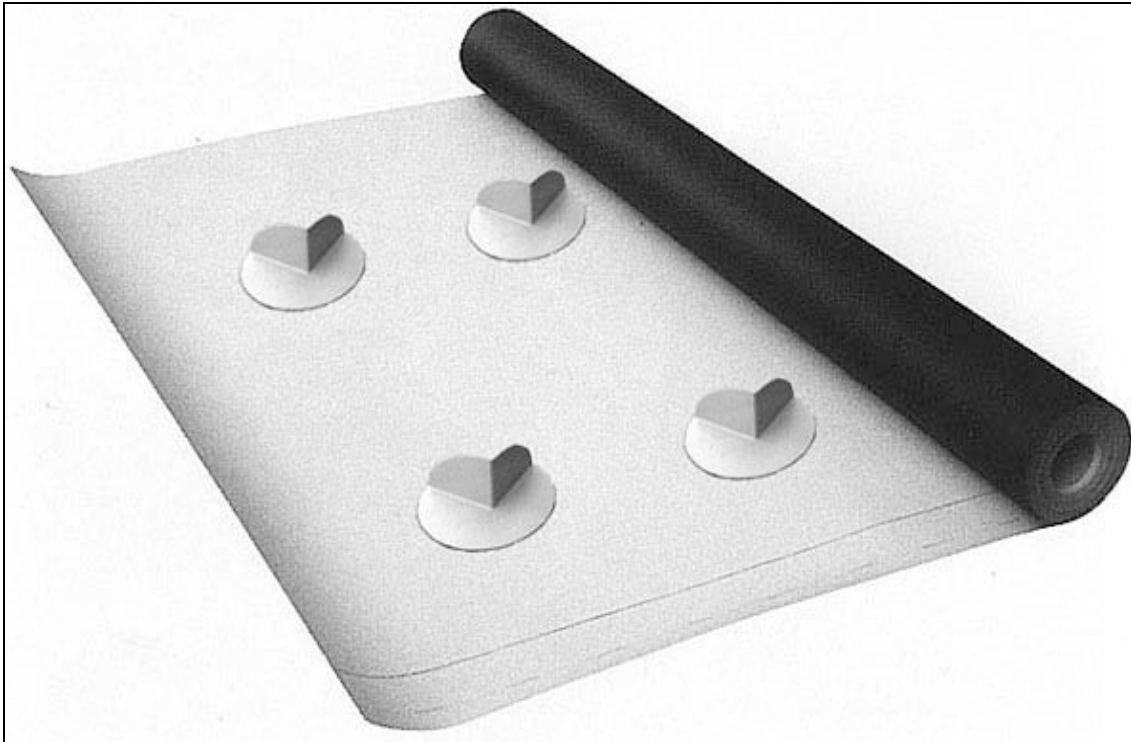


Bild 4. Reissfestes Vlies mit Befestigungslaschen für die Solarmodulmontage.

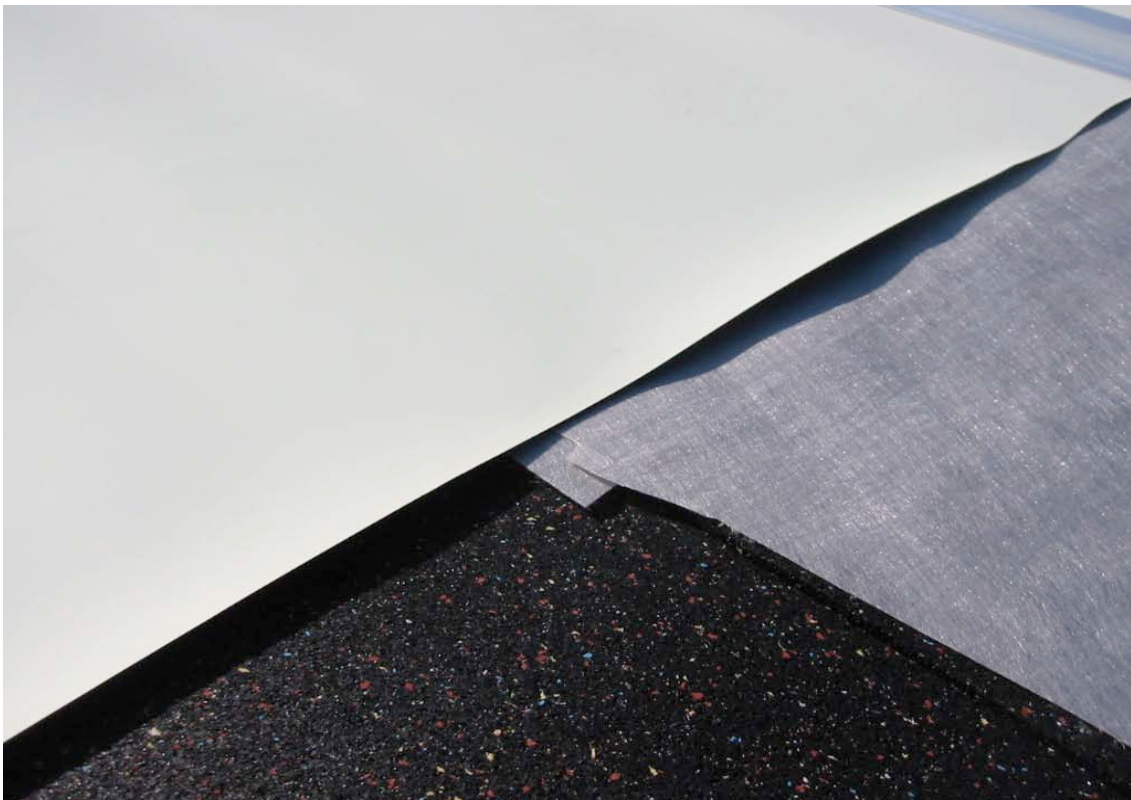


Bild 5. Reissfestes Vlies auf dem Bau.

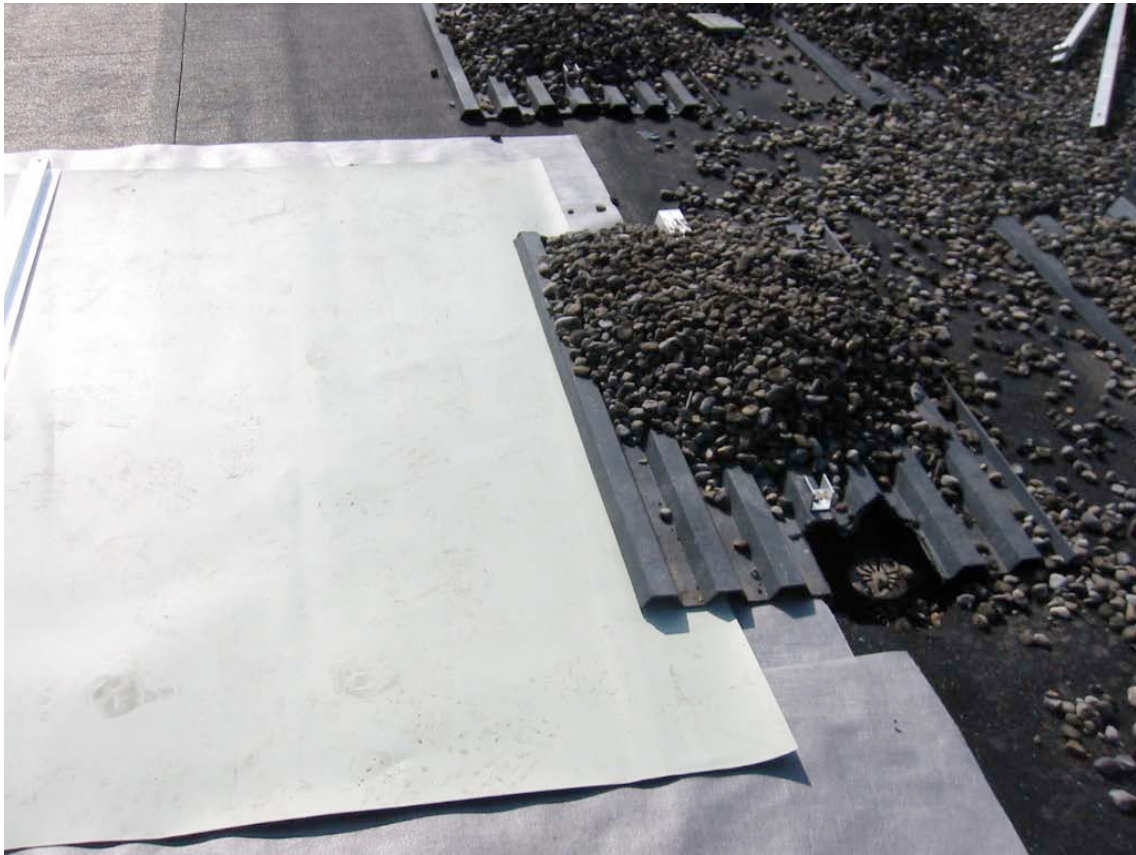


Bild 6. Zwei erfolgreiche Varianten der Leichtgewichtsmontage auf dem Dach, links SOLight-Folie im Test und rechts SolRec-Platte.



Bild 7. Vorbereitung der SOLight-ROLLOUT Folien auf dem Dach mit Teilen der Unterkonstruktion



Bild 8. Das Kies wird verlegt und die Stützen schauen aus dem Kies hervor.



Bild 9. Die Module sind verlegt: Ansicht der Anlage von hinten.



Bild 10. Ansicht der Anlage von der Seite.

SOLight GW-PLATTE Schrittbetonplatten-Stütze

Anstelle von Kies kann zur Dacheindeckung auch gebundener Kies in Form von Schrittbetonplatten eingesetzt werden. Der verlegte Quadratmeterpreis ist höher als bei Rundkies, dafür ist das Dach ideal begehbar. Das spezifische Gewicht pro Quadratmeter ist in etwa gleich. Durch entsprechende metallische Konstruktionsteile kann das Gewicht der Schrittbetonplatten für die Schwerlastfundament der Solarmodule verwendet werden. Eine offizielle Pilotanlage mit entsprechender Ausmessung stellt das fehlende Glied zur erfolgreichen Verbreitung des Produktes dar.

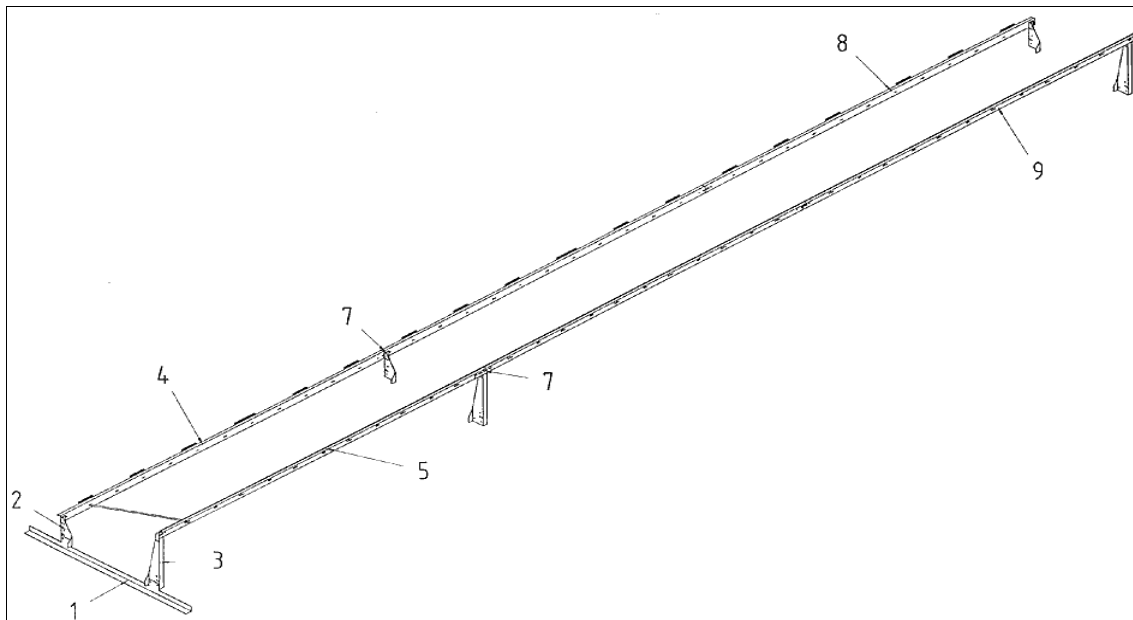


Bild 11. Darstellung des Metallbaulieferanten für die Reihenkonstruktion der Aufständering mit Verbindung der Module untereinander.

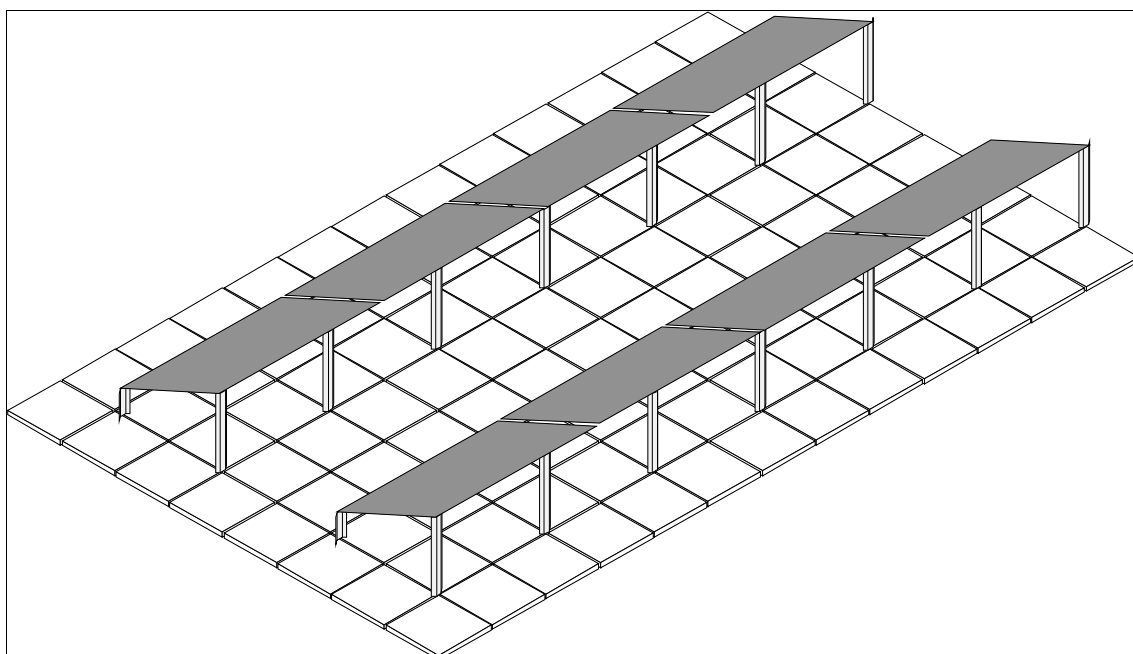


Bild 12. So sieht die Aufständering mit Schrittbetonplatten aus: formschön, schlicht, klar und grazil; ein neuer Schritt Richtung funktionelle Schwerlastfundation, zudem ist das Dach vollständig begehbar, was bei Dachmieten entscheidend sein kann.



Bild 13. Das System SOLight-GW_PLATTEN wird mit handelsüblichen Gehwegplatten verlegt

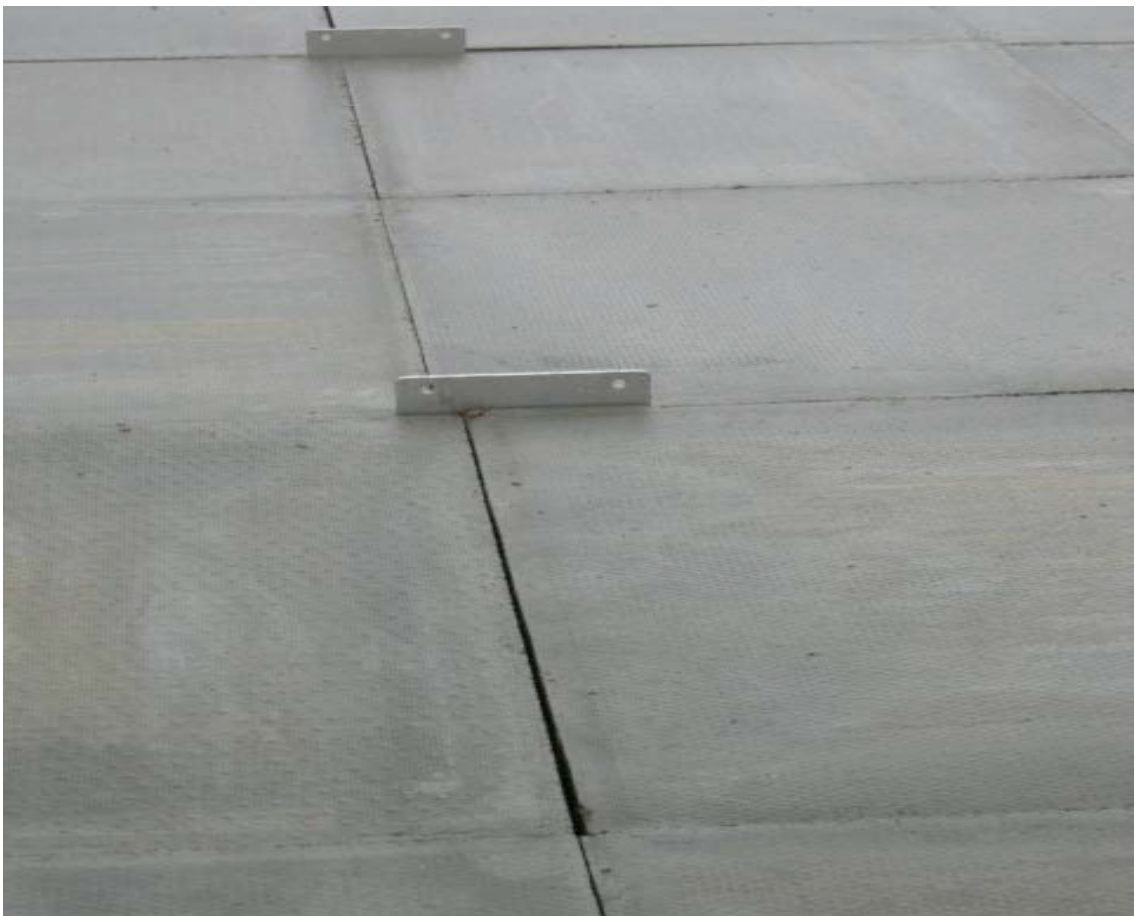


Bild 14. Detail der SOLight-GW-PLATTE-Verankerung..



Bild 15. Vollständig verlegte SOLight-GW_PLATTEN mit Gehwegplatten



Bild 16. Unterkonstruktion fertig verlegt und bereit für die Montage mit Solarmodulen.



Bild 17. Fertig montierte P+D Anlage von der Seite.

6. Hauptergebnisse

ROLLOUT: FLIES MIT BEFESTIGUNGSLASCHEN

Die Aufständering mit herkömmlichen Folien mit zusätzlich angebrachten Befestigungslaschen bewährt sich und funktioniert. Zu beachten ist bei der Auslegung insbesondere die Schneelast. Es müssen Auflageflächen vorgesehen werden, die je nach Modulgrösse, Schneelage und Druckfestigkeit der darunter liegenden Wärmedämmung kleiner oder grösser gemacht werden müssen. Hier ergibt sich auch das Problem, die Lösung kommerziell als Produkt anzubieten: es müssen eine Reihe von Randbedingungen geprüft und berücksichtigt werden, um das Produkt richtig auszulegen. Und genau dies wird von einem Produkt gegenteilig erwartet: es soll möglich eine Lösung für alle Anwendungen passen. Trotz günstigen Konkurrenzprodukten kann das System in bestimmten Anwendungsbereichen seine Vorteile ausspielen. Es wird aber vermutlich eine Nischenanwendung bleiben, insbesondere da inzwischen Platten auf dem Markt sind, die sehr günstig angeboten werden und die Aufgabe in ähnlicher Weise lösen.

GW-PLATTE SCHRITTBETONPLATTEN-STÜTZE

Die Aufständering mit Schrittbetonplatten hat sich bewährt und funktioniert. In Spezialanwendungen, bzw. wenn Gehwegplatten aus anderen Gründen am Bau verlangt sind, ist diese Methode allen anderen Lösungen sowohl wirtschaftlich wie ästhetisch überlegen. Die Vermarktung ist relativ einfach, allerdings ist auch hier zu beachten, dass die Auslegung der Statik eine fundierte Abklärung und Berücksichtigung aller Randbedingungen wie Gebäudehöhe, Windlastzone, Gebäudegeometrie undgl. berücksichtigt.

MONITORING

Anhand von definierten Referenzpunkten ist das P+D-Solarkraftwerk nach Fertigstellung vermessen worden. Nach Stürmen wird das Solarkraftwerk begangen und das P+D-Solarkraftwerk punktuell hinsichtlich allfälligen Verschiebungen begutachtet und vermessen. Anhand der Referenzpunkten kann genau festgestellt werden, ob sich die Anlage durch starke Windbelastungen verschoben hat. Nach dem ersten Betriebsjahr kann festgehalten werden, dass bis zum heutigen Zeitpunkt noch keine Verschiebungen stattgefunden haben: das P+D-Solarkraftwerk erfüllt die an sie gestellte Forderungen bis zum heutigen Zeitpunkt einwandfrei.

7. Schlussfolgerungen / Perspektiven

Das Projekt ist mit dieser Arbeit zum vorläufigen geplanten Schluss gekommen. Es wird geprüft ob die Lösungen in Produkte umgearbeitet werden können, um in Zukunft für den Vertrieb als Handlesprodukt angeboten werden können.

Die Ergebnisse und die gewonnenen Erfahrungen fliessen bereits heute in anderweitige Entwicklungen ein.

8. Publikationen

Schlussbericht April 2002

SOLight – Untersuchung Leicht-Modulaufständungen für Kiesfachdächer

Annual Report 2003

Preparation and Realisation of the Test- and Pilot Installation SOLIGHT

Annual Report 2004

Preparation and Realisation of the Test- and Pilot Installation SOLIGHT

Annual Report 2007

Preparation and Realisation of the Test- and Pilot Installation SOLIGHT

Flyer „Solarstrom“ der JHKeller AG Zürich im Anhang

9. Symbolverzeichnis

10. Referenzen

- [1] Gustav Peter et al. Baustofflehre, Leitfaden für Planung und Praxis, vdf Hochschulverlags AG,
- [2] Huber + Suhner AG Bedachungen, Werkskatalog Dachsysteme
- [3] Sama AG Bedachungen, Werkskatalog Dachsysteme

11. Anhang

FLYER SOLARSTROM DER JH KELLER AG ZÜRICH

SOLARSTROM

Energie der Sonne

Sonne tanken auf den Dächern der beiden Geschäftsliegenschaften JH Keller AG und Egolf Verpackungs AG. Ein ansehnliches Solarkraftwerk mit einer Gesamtleistung von 234.25 kWp (Abkürzung für Kilowatt-Peak Spitzenleistung) speist im Jahr einen Ertrag von rund 200'000 kWh Sonnenenergie über die ewz-Solarstrombörse ins städtische Netz.

Sauberen Strom produzieren

Mit dieser Energie können jährlich ca. 65 städtische Durchschnittshaushalte mit elektrischer Energie versorgt werden. (3000 kWh pro Haushalt). Dies entspricht 110 Tonnen CO₂-Ersparnissen im Jahr oder um mit den Zahlen der Autoindustrie zu rechnen, ca. 500'000 gefahrenen Autokilometern.

Wind, Wasser und Sonne – die Stromquellen der Natur sind grenzenlos

Gebäudeintegrierte Solartechnik

Projektentwicklung, Planung, Engineering und Realisierung dieses Solarkraftwerkes übernahm die Firma energiebüro® ag, sowie die Zuständigkeit für Betrieb und Unterhalt. Als einziges Schweizer Ingenieurbüro ist der Gesamtdienstleister energiebüro® ag ausschliesslich auf Netzverbund-Solarkraftwerke mit Gebäudeintegration spezialisiert. Mit der Realisation zahlreicher grosser Solarkraftwerke gewann energiebüro® ag die meisten internationalen und nationalen Auszeichnungen.

Bei diesem Projekt wurden u.a. zum ersten Mal das neue innovative Montagesystem montavent™ KLICK eingesetzt und die Pilot + Demonstrations-Anlage montavent™ SOLIGHT in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Energie (BfE), umgesetzt. Weitere Informationen zu energiebüro® ag unter www.energieburo.ch



energiebüro®

für Solarkraftwerke

energiebüro® ag – für Solarkraftwerke
Hafnerstrasse 60, 8005 Zürich
Telefon 043 444 69 10; Fax 043 444 69 19
info@energieburo.ch, www.energieburo.ch



Ein Familienunternehmen seit 1933
75
Jahre

JH Keller AG Zürich

Vulkanstrasse 120, 8048 Zürich, 044 437 24 24, info@jhkellerag.ch, www.jhkellerag.ch

PLANAUSSCHNITT

