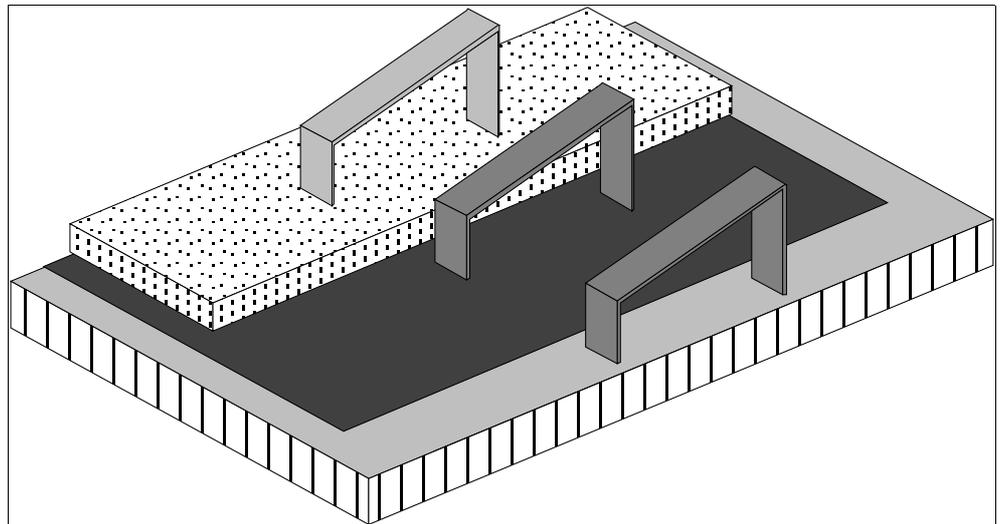


Schlussbericht PV P+D, DIS 27703 / 69120, Oktober 2002

SOLIGHT - Untersuchung Leicht-Modul- aufständerungen für Kiesflachdächer

SOLIGHT - Investigation on Lightweight PV-Module Mountings for Gravel Roofs

ausgearbeitet durch:
Christian Meier, Roland Frei
energiebüro® - Die Solarplaner
Limmatstrasse 230, 8005 Zürich



1 Projekt und Personen

Auftraggeber BfE Bundesamt für Energie
3003 Bern

ewz - Die Energie
Postfach
8050 Zürich

Auftragnehmer energiebüro® zürich - Die Solarplaner
Limmatstrasse 230
8005 Zürich
www.energieburo.ch

Christian Meier Dipl. Ing. HTL/STV
Roland Frei Dipl. Natw. ETH

Verteiler Auftraggeberschaft

Datum Oktober 2002

Projektnummer 27703

Vertragsnummer 69120

2 Inhaltsverzeichnis

1	Projekt und Personen	2
2	Inhaltsverzeichnis	3
3	Zusammenfassung	6
4	Summary (english)	6
5	Einleitung	7
6	Situation Flachdach.....	11
6.1	Flachdachkonstruktionen	11
6.2	Schutzschichten, Nutzsichten	12
6.2.1	Keine Schutzschicht	12
6.2.2	Schutzschicht aus Rundkies	13
6.2.3	Aufgegossene Schutzschichten	13
6.3	Abschätzung Flachdachpotential.....	13
6.3.1	Allgemeine Daten	13
6.3.2	Photovoltaisches Flachdach-Flächenpotential nach Grössenkategorien	14
6.3.3	Abschätzung der Verteilung der verschiedenen Flachdachtypen.....	14
7	SOLight Varianten-Studie.....	16
7.1	Pflichtenheft, Anforderungsprofil	17
7.2	Morphologischer Kasten.....	18
7.2.1	Ausgangslage.....	18
7.2.2	Elimination 1.....	19
7.2.3	Elimination 2	19
7.2.4	Zusammenfassen von Teilfunktion D	20
7.2.5	Teillösungen.....	20
7.3	Übersicht und Schwachpunkte der Teillösungen	22
7.4	Materialwahl	22
7.5	Übersicht über die Teillösungen	23
8	Variante: aufgebogene Platte durchgehend	24
8.1	Beschreibung	24
8.2	Gewicht	24
8.3	Kosten	25
8.4	Einsparungspotential	25
8.5	Vorbehalte.....	26
9	Variante Gitter mit Vlies/Folie	27
9.1	Beschreibung	27
9.2	Gewicht	29
10	Variante Einzelne Platten mit Vlies/Folie	30
10.1	Beschreibung	30
10.2	Gewicht	31
10.3	Folie/Vlies	31
10.4	Aufständigung.....	32



10.5	Punktbelastungen und Reibung.....	33
11	Variante Bügel mit Vlies/Folie.....	34
11.1	Beschreibung	34
11.2	Gewicht	35
11.3	Punktbelastungen und Reibung.....	35
12	Variante Gewellte Platte durchgehend.....	36
12.1	Beschreibung	36
12.2	Gewicht	37
12.3	Kosten	37
12.4	Problematik.....	38
13	Beurteilung der verschiedenen Teillösungen.....	39
13.1	Übersicht.....	39
13.2	Vlies/Folie mit einzelnen Platten oder Bügel	40
13.3	Gitter mit Vlies/Folie.....	40
13.4	Aufgebogene Platte (Stahlblech verzinkt).....	41
13.5	Aufgebogene Platte (Aluminiumblech eloxiert).....	41
13.6	Gewellte Platte durchgehend.....	41
14	Experimente für SOLight	42
14.1	Ziel des Experimentes.....	42
14.2	Physikalisches Modell der Kräfte	42
14.3	Beschreibung	43
14.4	Verwendetes Material.....	44
14.5	Ablauf des Experimentes	44
14.6	Ausführung des Zugkraft-Experimentes.....	45
14.6.1	Bildabfolge.....	45
14.6.2	Vorgehen Versuchsdurchführung	46
14.6.3	Resultate.....	46
14.7	Anmerkungen zum Experiment	48
15	Weitere Varianten mit ähnlichem Fundationsprinzip	49
15.1	Variante feste Bodenplatten mit metallischer Aufständering.....	49
15.2	Variante einzelne Zementschrittplatten.....	50
15.3	Verwendung von bestehenden Kunststoffformteile	50
15.4	Verbund von Zementschrittplatten als Schwerlastfundation	51
15.5	Gewellte Kunststoffplatten mit metallischer Unterkonstruktion	53
16	Schlussfolgerungen / Ausblick	58
17	Quellenangabe	59
18	Graue Energie von Aluminiumrahmen von Solarmodulen	60
19	Verbindung Laminat SOLight	61
19.1	Klemmen der Lamine	61
19.2	Kleben vom Laminat auf SOLight.....	61
19.2.1	Doppelklebeband	61
19.2.2	Direktes Aufkleben	61

19.2.3 Klettverschluss..... 61

3 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.

4 Summary (english)

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.

5 Einleitung

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 Dacheigengewicht 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 ähnlichen 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 Dachkonstruktion ist dies eine zu hohe Zusatzbelastung, weshalb auf den Bau einer PV-Anlage verzichtet werden muss.

Das neu entwickelte System mit dem Arbeitsnamen 'SOLight' ist so gestaltet, dass das Zusatzgewicht auch bei Erfüllung der Windlastfestigkeit nach SIA 160/1 nur wenige kg/m² beträgt. Das entspricht nur einem Bruchteil der Belastung durch die anderen Systeme.

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

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 Aufständering) 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, worüber vorliegender Bericht Rechenschaft abgibt, sowie ein noch folgendes Pilot- und Demonstrationsprojekt.

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

2002 soll als Phase 2 eine Pilot- und Demonstrationsanlage installiert werden. Dieser zusätzliche Schritt erlaubt es, weitere Verfeinerungen 'in vivo' vorzunehmen. Diese P+D-Anlage ist nicht Teil des vorliegenden Projektes.

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.

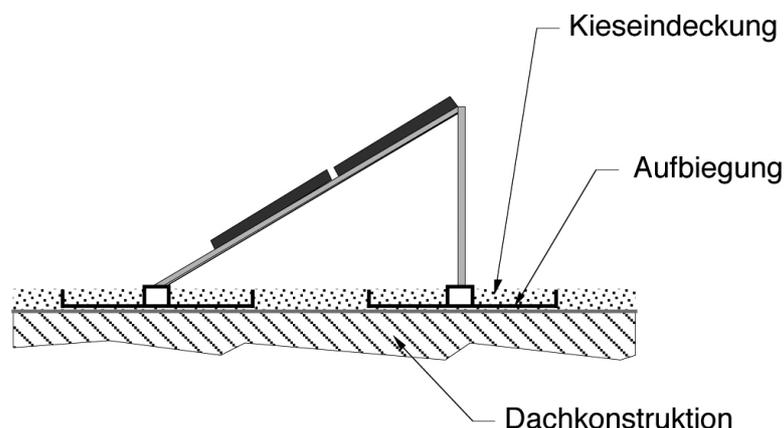


Bild 1. Prinzip Flachdach-Fundationsschalen SOLight, konzeptionelle Anwendung: die bestehende Kiesschicht wird von der benötigten Fläche für die Fundationsschalen beiseite geschoben; die SOLight-Schalen werden mit Unterlagsmatten auf die Flachdachhaut versetzt; das zuvor entfernte Kies wird wieder regelmässig 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 Schnellasten 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 herkömmliches Solarstrommodul-Montagesystem kann hier eingesetzt werden.

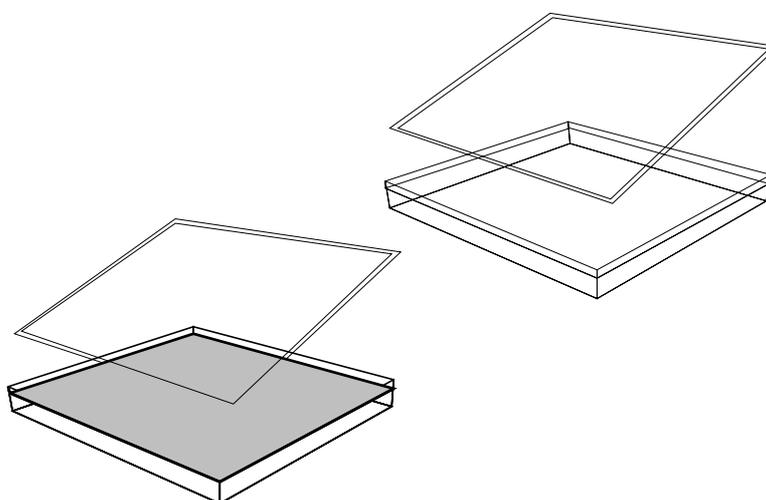


Bild 2. Prinzipielle 3-D-Ansicht der Flachdach-Fundationsschalen SOLight; rechte obere Fundationsschale ist schematisch leer dargestellt, die linke untere schematisch mit Dachkies aufgefüllt

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 heute schon verschiedene Aufständersysteme auf dem Markt angeboten werden, können 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 müssen so Zusatzgewicht in Form von Ballast aufwenden.

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 (Material Intensity per Service Unit) möglichst niedrig gehalten wird. Diese Anforderung dürfte von SOLight im Vergleich zu anderen Systemen mit Abstand am besten erfüllt werden.

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

SOLight 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 Kieses 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 kann zudem Zusatzmaterial gespart werden.

6 Situation Flachdach

Im Rahmen des Projektes SOLight wurde abgeklärt, wie die statistische Verteilung der verschiedenen Dachtypen ist, sowie welche statischen Reserven solche Dächer aufweisen.

6.1 Flachdachkonstruktionen

Die am weitesten verbreitete Flachdachkonstruktion ist das Warmdach.

Definition Warmdach: Einschalige, wärmegeämmte und nicht durchlüftete Flachbedachung, bei der die Abdichtung über der wärmedämmenden Schicht liegt.

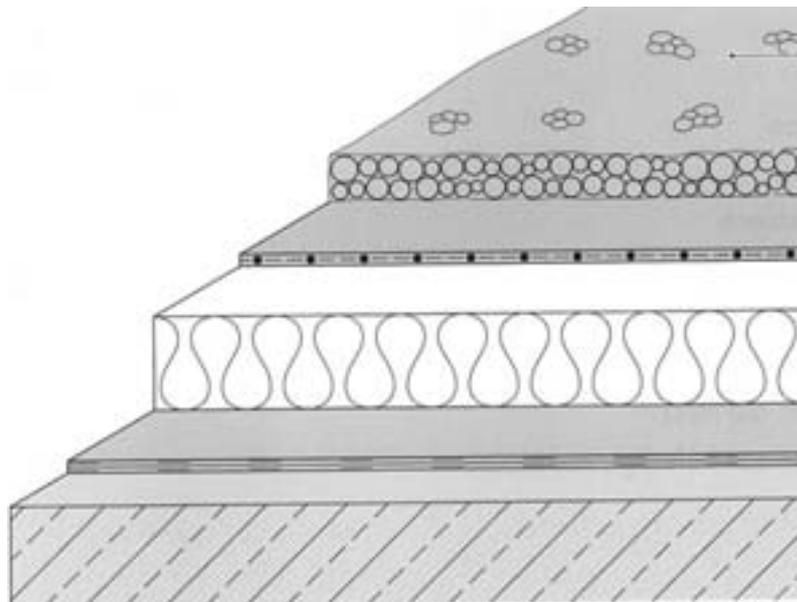


Bild 3.: Schematische Darstellung des Warmdaches: einschalige, wärmegeämmte und nicht durchlüftete Flachbedachung, bei der die Abdichtung über der wärmedämmenden Schicht liegt

Es gibt verschiedene weitere Systeme (Kaltdach, Umkehrdach, Duodach) welche aber weniger verbreitet sind.

Definition Umkehrdach: Dachsystem, bei dem die Wärmedämmschicht über der Abdichtung angeordnet ist. Diese Konstruktion wird vor allem bei beschränkt begehbaren Flachdächern mit Rundkiesbeschwerungsschicht eingesetzt.

Definition Duodach: Dachsystem mit Wärmedämmschichten unterhalb und oberhalb der Abdichtung. Die untere Wärmedämmschichtung dient als Verlegethilfe und erbringt einen Teil des erforderlichen Wärmedurchgangswiderstandes. Die obere Wärmedämmschicht entspricht der Wärmedämmschicht eines Umkehrdaches.

Definition Kaltdach: Dachsystem, bestehend aus einer raumabschliessenden Innenschale, einer Aussenschale mit Abdichtung und einem dazwischenliegenden Belüftungsraum. Dieses System wird nicht sehr häufig angewendet, kann aber wie das Warmdach vielfältig genutzt werden. /1/

6.2 Schutzschichten, Nutzsichten

Für die Befestigung von SOLight auf dem Dach ist die oberste Schicht des Daches (Schutz- oder Nutzsicht) massgebend. Diese ist weitgehend unabhängig von der übrigen Konstruktion des Daches.

Die Schutzschicht schützt und beschwert die Abdichtung, bzw. die Wärmedämmschicht beim Umkehrdach. Als Nutzsicht wird die als Gehbelag, Fahrbelag oder Vegetationsschicht ausgebildete oberste Schicht(en) der Flachbedachung bezeichnet. Für das Projekt SOLight sind vor allem die Schutzschichten von Interesse, da die Nutzsichten anderweitig benützt werden und diese Dächer per Definition auch genügend grosse statische Reserven für herkömmliche Systeme aufweisen, da sie ja beh- bzw. befahrbar sein müssen.

Nachstehend ist angegeben, welche Schutz- oder Nutzsichten bei welchen Dachkonstruktionen möglich sind. (WD : Warmdach, UK : Umkehrdach, DD : Duodach, KD : Kaltdach)

- Flachdach ohne Schutz und Nutzsicht (Nacktdach) (WD, KD)
- Flachdach mit Schutz- und Beschwerungsschicht aus Rundkies bzw. Sand/Kies (beschränkt begehbar) (WD, UK, DD, KD)
- Flachdach mit begehbaren Nutzsichten (z.B. Verbundsteine) (WD, KD)
- Flachdach begrünt (Intensiv- oder Extensivbegrünung) (WD, KD)
- Flachdach mit befahrbaren Nutzsichten (WD)

6.2.1 Keine Schutzschicht

Die oberste Schicht bildet hier die Abdichtung. Unter Abdichtung versteht man eine ein- oder mehrlagige Schicht zur Abdichtung eines Bauwerks gegen Regen, Schnee und Schmelzwasser.

Es gibt verschiedene Typen von Abdichtungen : Bitumen-Dichtungsbahnen (BDB), Polymer-Bitumen-Dichtungsbahnen (PDB) und Kunststoff-

Dichtungsbahnen (KDB). Diese Abdichtungen können mechanisch befestigt oder vollflächig aufgeklebt werden.

6.2.2 Schutzschicht aus Rundkies

Wird Kies direkt über der Abdichtung aufgebracht, ist Rundkies mit einem gleichmässig über die Korngrösse verteiltem Brechkornanteil von max. 15 Prozenten zu verwenden. Bei grösserem Brechkornanteil wird eine Schutzlage verlegt.

Bei besonders sturmexponierten Gebäuden muss die Schutzschicht in den Randzonen verfestigt (Kieskleber) oder mit Zementschrittplatten bzw. Gehwegplatten ausgeführt werden.

6.2.3 Aufgegossene Schutzschichten

Aufgegossene Schutzschichten müssen aus minimal kalkabscheidendem Feinbeton oder Beton mit dichtem Gefüge hergestellt werden und eine Minimaldicke von 50 mm aufweisen. /1/

6.3 Abschätzung Flachdachpotential

am Beispiel der Stadt Zürich

6.3.1 Allgemeine Daten

Bruttodachfläche :	13.7 km ²
Photovoltaik-Flächenpotential : KE*=0.9	2.7 km ²
Jährliche Dynamik im Gebäudepark	
Dachflächen von Neubauten mit KE*=0.9	20'000 m ²
Dachflächen von Neubauten mit KE*=0.8	10'000 m ²
Dachflächen von Umbauten mit KE*=0.9	6'000 m ²
Dachflächen von Umbauten mit KE*=0.8	5'000 m ²
Dachflächen von Sanierungen mit KE*=0.9	24'000 m ²
Dachflächen von Sanierungen mit KE*=0.8	9'000 m ²
Energetische Wertung**	
Energie von Flächen mit KE*=0.9	0.27 TWh
Energie von Flächen mit KE*=0.8	0.17 TWh

Tabelle 4.: *KE : Ertragskriterium (KE = 1 : max. Energieertrag, KE = 0.9 : 90% des max. Ertr.) ** mögliche photovoltaische Energieproduktion mit bestehender Technologie auf den ausgeschiedenen Flächen mit KE = 0.9 resp. 0.8 /2/

6.3.2 Photovoltaisches Flachdach-Flächenpotential nach Grössenkategorien

Rund ein Viertel der in der Stadt Zürich stehenden Gebäude besitzt ein Flachdach. /2/

Innerhalb der Flachdachbauten können die vorhandenen Potentialflächen nach ihrer Grösse unterschieden werden :

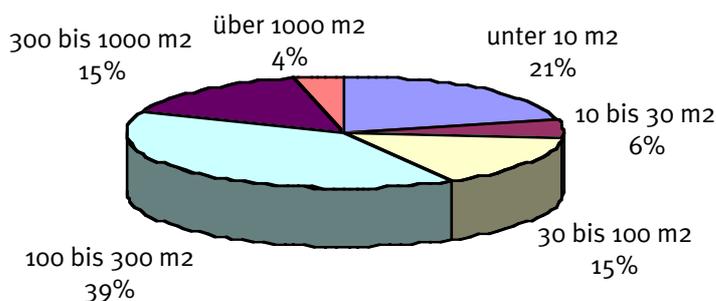


Bild 5. Unterteilung von Flachdächern in verschiedenen Grössenkategorien

Bei 582 erhobenen Flachdachbauten weist rund ein Fünftel ein Flächenpotential von weniger als 10 m² auf, ein weiterer Fünftel 10 – 100 m². Rund zwei Fünftel der Flachdachbauten könnten zwischen 100 und 300 m² Dachfläche zur Verfügung stellen und ein weiteres Fünftel gar über 300 m². Diese Dachflächen weisen ein Ertragskriterium von 0,93 auf. /2/

Für die Dekade 2000 bis 2009 ergeben sich jährlich photovoltaische Potentialflächen auf Flachdächern (mit Ertragskriterium von 0,93) im Umfang von aufgerundet 15000 m². /2/

6.3.3 Abschätzung der Verteilung der verschiedenen Flachdachtypen

Dachtyp	Anteil an Total
Kiesdächer	70 - 80 %
Begrünte Dächer	20 - 30 %
Nacktdächer	2 - 4 %

Tabelle 6. Prozentuale Verteilung der Flachdachtypen

Der Anteil der begrünten Dächer in der Schweiz ist steigend, da begrünte Dächer einen besseren Schutz für die Dachhaut bieten als Kiesdächer. Die Angaben sind nicht als absolut anzusehen. Es handelt sich um Erfahrungswerte, welche durch Sarnafil angegeben wurden und nur für Flachdächer gelten, welche von Sarnafil erstellt oder saniert wurden. Jedoch ist davon auszugehen, dass die Angaben relativ repräsentativ für alle Flachdächer sind. /3/

Über die genaue Anzahl von Flachdachbauten mit geringen statischen Reserven kann keine genaue Aussagen gemacht werden. Klar scheint jedoch, dass solche Bauten und das Problem der statischen Reserven vorhanden ist, beispielsweise auf dem Dach des Hauptbahnhofes Zürich.

7 SOLight Varianten-Studie

Das Aufständersystem SOLight wurde speziell für Flachdächer mit geringen statischen Reserven und einer Rundkiesbeschwerungsschicht konzipiert, wie sie häufig auf Flachdachbauten in der Schweiz vorkommen. Alle nachfolgend dargestellten Überlegungen zu SOLight-Varianten nutzen die Rundkiesbeschwerungsschicht als Schwerlastfundation zur Sicherung der Windfestigkeit.

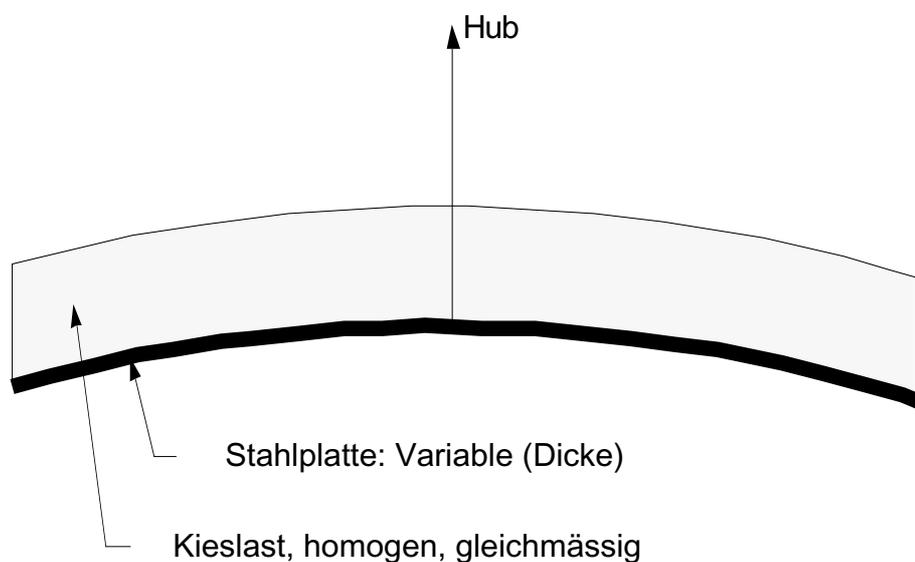


Bild 7. Schematische Darstellung des SOLight-Prinzips: eine Stahlplatte (oder anderes Material) mit variabler Dicke trägt eine homogen verteilte Kiesschicht und ermöglicht dadurch, die nötige Hubkraft nach oben zu erhöhen. Diese Anordnung ist in umgekehrter Variante bei jedem Flugzeugdesign zu berücksichtigen: grosse, tragfähige Fläche mit möglichst keinem Eigengewicht überträgt die disperse Tragfähigkeit der Luftmassen auf den Hubpunkt.

Im folgenden werden die verschiedenen erarbeiteten Varianten des Systems SOLight beschrieben. Auf die einzelnen Varianten wird dann im einzelnen eingegangen.

7.1 Pflichtenheft, Anforderungsprofil

	Anforderung	Begründung	
1.	geringes Eigengewicht	Einsatzgebiet für Dächer mit geringen statischen Reserven	muss
2.	Windlastfestigkeit (SIA-Norm 160/1) muss gewährleistet sein	Voraussetzung für Einsatz	muss
3.	Aufständerung soll einsetzbar sein für Panels der Masse 46•100cm, 52•120cm, 68•130cm (und weitere)	flexibler Einsatz für verschiedene Paneltypen	muss
4.	Aufständerung soll einsetzbar sein für Panels mit und ohne Rahmen	flexibler Einsatz für verschiedene Paneltypen	muss
5.	kurze Montagezeit	geringe Kosten	muss
6.	keine Verletzung der Dachhaut (kein schrauben oder bohren)	Abdichtung des Daches darf nicht verletzt werden	muss
7.	Neigung des Panels frei wählbar	Optimum erreichbar zwischen Fläche - Ertrag - Abschattung	muss
8.	einsetzbar für verschieden Dachtypen (nicht nur Kiesflachdächer)	grosses Anwendungspotential	soll
9.	Flächenbedarf des "Sockels" der Aufständerung nicht grösser als Panelfläche	grösstmögliche Panelfläche und damit einheitliches, geschlossenes Bild des Daches möglich	soll
10.	Aufständerung nicht grösser als ein übliches Palett	einfacher Transport	soll
11.	mit den für Dächern üblicherweise verwendeten Materialien verträglich	kein zusätzlicher Korrosionsschutz Korrosion nötig	soll
12.	korrosionsbeständiges Material	kein Korrosionsschutz nötig	soll
13.	ansprechendes Erscheinungsbild		muss

Tabelle 8. Anforderungsliste an SOLight mit muss-, soll- und kann-Kriterien.

Das System SOLight wird im folgenden in 7 verschiedene Teilfunktionen aufgeteilt (nach H. Birkhofer, Methoden industrieller Planung und Entwicklung), welche nahezu unabhängig voneinander lösbar sind. Wie sich zeigt, liegt die zentral zu lösende Aufgabe bei den Teilfunktionen D und E.

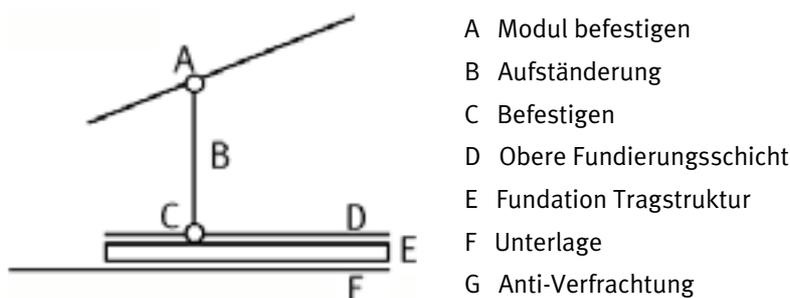


Bild 9. Schematische Darstellung einer Solarmodulaufständerung mit den 7 Teilfunktionen A bis G.

7.2 Morphologischer Kasten

7.2.1 Ausgangslage

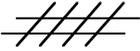
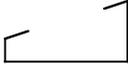
Teil-funktion A, B, C, D, E, F, G	Teillösung 1	Teillösung 2	Teillösung 3	Teillösung 4	Teillösung 5
A Modul befestigen	A1 Schrauben	A2 Klemmen	A3 Klett	A4 Kleben	
B Aufstän- derung	B1 nicht abgeklärt				
C Befestigen	C1 nicht abgeklärt				
D Obere Fundie- rungs- schicht	D1 keine	D2 Vlies	D3 Folie	D4 Laminieren der Fundation	
E Fundation Trag- struktur	E1 Platte durch- gehend 	E2 Gitter 	E3 Platten einzeln 	E4 Bügel 	
F Unterlage	F1 keine	F2 Dick (z.B. Polyst.)	F3 Dünn (z.B. Folie)		
G Anti- Verfracht- ung	G1 keine	G2 Kleben mit Kieskleber	G3 Mechanisc he Veränderu ng der Fun- dation (z.B. Auf- biegen der Platte)	G4 Plastikein- sätze	G5 Gewellte Platte

Tabelle 10. Morphologischer Kasten nach H. Birkhofer. Es ergeben sich 960 theoretisch mögliche Kombinationen

7.2.2 Elimination 1

Teilfunktionen A,B,C sind unabhängig von den restlichen Teilfunktionen und nicht zentral für die Lösung.

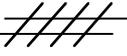
D Obere Fundierungsschicht	D1 keine	D2 Vlies	D3 Folie	D4 Laminieren der Fundation	
E Fundation Tragstruktur	E1 Platte durchgehend 	E2 Gitter 	E3 Platten einzeln 	E4 Bügel 	
F Unterlage	F1 keine	F2 Dick (z.B. Polyst.)	F3 Dünn (z.B. Folie)		
G Anti-Verfrachtung	G1 keine	G2 Kleben mit Kieskleber	G3 Mechanische Veränderung der Fundation (z.B. Aufbiegen der Platte)	G4 Plastikeinsätze	G5 Gewellte Platte

Tabelle 11. Elimination 1, Es ergeben sich 240 theoretisch mögliche Kombinationen

7.2.3 Elimination 2

Teilfunktionen D und E stellen den zentralen Teil des Problems her.

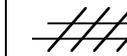
D Obere Fundierungsschicht	D1 keine	D2 Vlies	D3 Folie	D4 Laminieren der Fundation	
E Fundation Tragstruktur	E1 Platte durchgehend 	E2 Gitter 	E3 Platten einzeln 	E4 Bügel 	

Tabelle 12. Elimination 2, Es ergeben sich 16 theoretisch mögliche Lösungskombinationen, von welchen einige jedoch nicht sinnvoll oder nicht ausführbar sind.

7.2.4 Zusammenfassen von Teilfunktion D

Die Teilfunktionen D2 und D3 erfüllen im wesentlichen die gleiche Funktion und können in eine Gruppe D23 zusammengefasst werden.

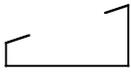
D Obere Fundierungsschicht	D1 keine	D23 Vlies / Folie		D4 Laminieren der Fundation
E Fundation Tragstruktur	E1 Platte durchgehend 	E2 Gitter 	E3 Platten einzeln 	E4 Bügel 

Tabelle 13. Prozentuale Verteilung der Flachdachtypen: Zusammenfassen von Teilfunktion D

7.2.5 Teillösungen

Nach dem Ausschliessen der nicht verträglichen Kombinationen ergeben sich 5 verschiedene Teillösungen :

Teillösung 1

D Obere Fundierungsschicht	D1 keine	D23 Vlies / Folie		D4 Laminieren der Fundation
E Fundation Tragstruktur	E1 Platte durchgehend	E2 Gitter	E3 Platten einzeln	E4 Bügel

Tabelle 14. Teillösung 1

Teillösung 2

D Obere Fundierungsschicht	D1 keine	D23 Vlies / Folie		D4 Laminieren der Fundation
E Fundation Tragstruktur	E1 Platte durchgehend	E2 Gitter	E3 Platten einzeln	E4 Bügel

Tabelle 15. Teillösung 2

Teillösung 3

D Obere Fundierungs- schicht	D1 keine	D23 Vlies / Folie		D4 Laminieren der Fundation
E Fundation Tragstruktur	E1 Platte durchgehend	E2 Gitter	E3 Platten einzeln	E4 Bügel

Tabelle 16. Teillösung 3

Teillösung 4

D Obere Fundierungs- schicht	D1 keine	D23 Vlies / Folie		D4 Laminieren der Fundation
E Fundation Tragstruktur	E1 Platte durchgehend	E2 Gitter	E3 Platten einzeln	E4 Bügel

Tabelle 17. Teillösung 4

Teillösung 5

D Obere Fundierungs- schicht	D1 keine	D23 Vlies / Folie		D4 Laminieren der Fundation
E Fundation Tragstruktur	E1 Platte durchgehend	E2 Gitter	E3 Platten einzeln	E4 Bügel

Tabelle 18. Teillösung 5

7.3 Übersicht und Schwachpunkte der Teillösungen

Teillösungen	Problematik			
	Stabilität	Bruchriss	Dachbeschädigung	Material
D1E1 Platte durchgehend ohne obere Fundierungsschicht	unproblematisch	unproblematisch	unproblematisch	zu lösen
D23E2 Gitter mit Vlies/Folie	zu lösen	zu lösen	unproblematisch	zu lösen
D4E2 Gitter laminiert	zu lösen	zu lösen	unproblematisch	zu lösen
D23E3 Einzelne Platten mit Vlies/Folie	zu lösen	zu lösen	unproblematisch	zu lösen
D23E4 Bügel mit Vlies/Folie	zu lösen	zu lösen	zu lösen	zu lösen

Tabelle 19.

7.4 Materialwahl

Die Hauptproblematik stellt die Materialwahl dar, welche nach Dauerhaftigkeit und Kosteneffektivität beurteilt werden muss.

Material	Unter Rundkies	Korrosionsschutz
CrNi-Stahl	unproblematisch	keinen
Stahl	Braucht Korrosionsschutz	Plastifizieren, Laminieren, Bitumieren
Aluminium	Braucht Korrosionsschutz	Eloxieren (Problem : verkratzen) Plastifizieren, Laminieren, Bitumieren
recycl. PE	siehe SOLMAX, ConSole	keinen



7.5 Übersicht über die Teillösungen

Teillösungen	Kurzbeschreibung
<p>D1E1G3 Aufgebogene Platte durchgehend (ohne obere Fundierungsschicht)</p>	<p>Als Verankerung wird ein kuchenblechartige Platte oder ein U-Profilblech verwendet, welches mit dem bereits auf dem Dach vorhandenen Rundkies gefüllt wird. Unter die Platte wird wie bei allen Varianten eine Schutzfolie verlegt, damit die Dachhaut nicht beschädigt wird.</p>
<p>D1E1G4 Gewölbte Platte durchgehend (ohne obere Fundierungsschicht)</p>	<p>Ähnlich wie die Teillösung D1E1G3. Es wird eine gewölbte Platte verwendet, wie es zum Beispiel von Formblechlieferanten hergestellt wird. Der Vorteil dieser Variante ist, dass das Blech schon eine Struktur aufweist und deshalb nicht mehr an den Kanten aufgebogen werden muss. Ausserdem wird durch die Struktur des Bleches eine unerwünschte grossflächige Verlagerung des Rundkieses erschwert.</p>
<p>D23E2G? Gitter mit Vlies/Folie</p>	<p>An Stelle der durchgehenden Platte kommt unter das Rundkies ein Gitter, über welchem eine Folie verlegt wird, damit das Rundkies nicht durch das Gitter fällt.</p>
<p>D23E3G? Einzelne Platten mit Vlies/Folie</p>	<p>Es wird nochmals eine Stufe reduziert: zur Fundierung der Anlage wird eine reissfeste Folie oder ein Vlies verwendet, welche über die einzelnen Fundierungsplatten verlegt und vom Rundkies beschwert werden.</p>
<p>D23E4G? Bügel mit Vlies/Folie</p>	<p>Ein ähnliches System wie bei der Variante Einzelne Platten mit Vlies/Folie: an Stelle der einzelnen Platten wird ein Bügel mit dem Vlies oder der Folie verwendet.</p>

Tabelle 20. Übersicht über die erfolgsversprechendsten Teillösungen. Bei den letzten drei Varianten wurde die Teilfunktion G noch nicht festgesetzt.

8 Variante: aufgebogene Platte durchgehend

8.1 Beschreibung

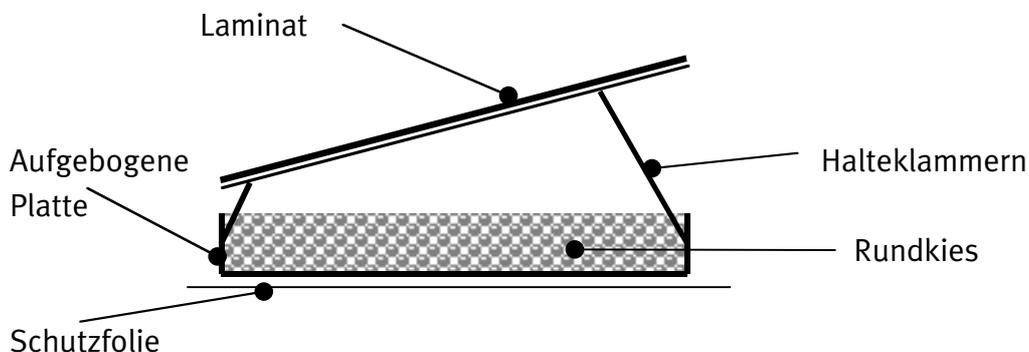


Bild 21. Ansicht der SOLight-Variante, welche mit einer aufgebogenen Platte fundiert wird, an welcher Halteklammern für das Solarmodul befestigt werden.

Als Verankerung wird eine kuchenblechartige Platte oder ein U-Profilblech verwendet, welches mit dem bereits auf dem Dach vorhandenen Rundkies gefüllt wird. Unter der Platte wird eine Schutzfolie verlegt, damit die Dachhaut nicht beschädigt werden kann.

Für diese Variante wurden verschiedene Ausführungen mit verschiedenen Materialien untersucht. Preis, Gewicht, Materialeigenschaften und ökologische Aspekte wurden berücksichtigt.

8.2 Gewicht

	Aluminium	Chromstahl	Stahl verzinkt
Zusatzbelastung des Daches pro m ² Solarmodulfläche bei einer Kieshöhe von 5 cm (mittlerer Wert) inkl. Solarmodul	17.4 kg	25.6 kg	25.5 kg
Graue Energie (MJ/Blech)	1130 MJ	1660 MJ	556 MJ
Kosten pro installiertem Watt fertig verlegt	0.84 SFr/Watt		0.82 SFr/Watt

Tabelle 22. Vergleich von Gewicht, grauer Energie und Kosten von verschiedenen Ausführungen der Variante ‚Aufgebogene Platte‘. Detaillierte Rechnungen zu Gewicht und Kosten befinden sich im Anhang .

8.3 Kosten

	Flachdach mit 5 cm Kies	Flachdach mit 3 cm Kies
Ausführung mit Stahl 2mm (2 mm Stahlblech verzinkt)	0.82 Fr./Watt	0.94 Fr./Watt
Ausführung mit Alu 2mm (2 mm Aluminiumblech eloxiert)	0.84 Fr./Watt	1.00 Fr./Watt
herkömmliches System (SOFREL, Beton offen)	0.71 Fr./Watt	0.71 Fr./Watt

Tabelle 23. Kosten pro installiertem Watt fertig verlegt im Vergleich mit einem herkömmlichen Aufständersystem, berechnet für ein Flachdach mit einer 5 cm dicken Kiesschutzschicht und ein Flachdach mit einer 3 cm Kiesschutzschicht.

Für ein Flachdach mit 5 cm Kies kostet das System SOLight in der günstigsten Ausführung (Stahlblech verzinkt) rund 12 % bzw. in der teuersten Ausführung rund 20 % mehr als ein herkömmliches System. Auf einem Flachdach mit 3 cm Kies ist die günstigste Variante von SOLight 20 %, die teuerste rund 50 % teurer als ein herkömmliches System.

Zu Kiesdächern mit einer 3 cm dicken Schutzschicht ist zu erwähnen, dass herkömmliche Systeme, welche in diesem Szenario spürbar weniger kosten, mit grosser Wahrscheinlichkeit wegen dem hohen Zusatzgewicht pro Quadratmeter (bis zu 70 kg) aus baustatischen Gründen für diese Dächer mit nur geringen statische Reserven ungeeignet sind.

8.4 Einsparungspotential

Das System SOLight erscheint in dieser Ausführung im Vergleich mit anderen Aufständern relativ teuer. Einsparungspotential liegt z.B. in der Blechverarbeitung, welche relativ teuer ist. Je nach Menge der herzustellenden U-Profil-Bleche lässt sich der Material-, sowie der Verarbeitungspreis noch senken.

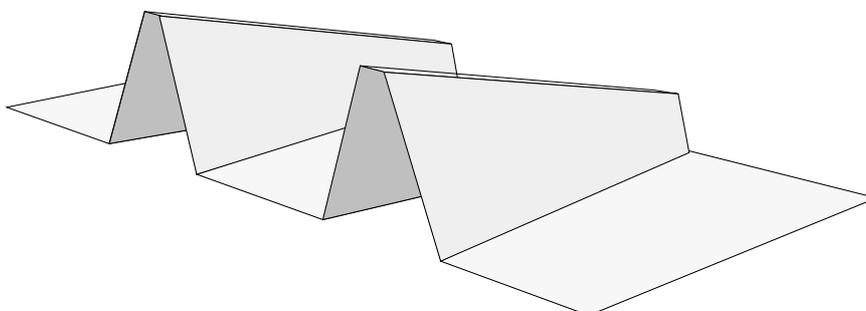


Bild 24. Abänderung der oben beschriebenen SOLight-Variante, welche mit einer aufgebogenen Platte fundiert wird. Anstelle der Halteklammern wird das Formteil direkt aufgebogen.

Eine Möglichkeit, den Preis deutlich zu senken, wäre es, die Blechverarbeitung wegzulassen, d.h. an Stelle von U-Profilblechen flache Bleche zu verwenden (Teillösung D1E1G1). Mit dieser Massnahme könnten die Kosten von SOLight gesenkt werden, so dass beispielsweise auf einem Kiesdach mit einer 5 cm dicken Schutzschicht die Ausführung mit verzinktem 2 mm Stahlblech mit einem Preis von 0.61 Fr./Watt unter den Preis eines herkömmlichen Systems zu liegen käme. Wenn man die Ausführung mit 2 mm Aluminiumblech ohne Bearbeitung wählt, ergibt sich ein Preis von 0.67 Fr./Watt.

Ein weiterer Vorteil des Systems SOLight ist das viel geringere Gewicht im Vergleich zu anderen Systemen, was sich im Transport sowie im Arbeitsaufwand preislich niederschlägt.

Das Preisniveau von marktüblichen Aufständersstrukturen ist dennoch mit den U-Profilblech-Varianten des Systems SOLight relativ schwierig zu erreichen.

8.5 Vorbehalte

Die Ausführung mit einem verzinkten Stahlblech kommt nach obigen Berechnungen am günstigsten und scheint auf den ersten Blick geeignet, auch bezüglich Ökologie. Es ergeben sich aber Probleme im Bezug auf die Materialeigenschaften. Ein verzinktes Stahlblech korrodiert, wenn es häufig längere Zeit feucht bleibt, was unter einer Kiesschicht kaum vermeidbar wäre. Ein bezüglich Korrosionseigenschaften geeigneteres Material scheint Aluminium zu sein, welches aber auch ohne zusätzlichen Korrosionsschutz in einer feuchten Kiesumgebung nicht verwendet werden kann. Chromstahl wäre bezüglich Korrosionseigenschaften eine gute Lösung, aber wegen der hohen Materialkosten wirtschaftlich nicht tragbar. Zudem wäre es ökologisch die von allen drei Materialien die ungeeignetste Variante. Eine Möglichkeit bestünde darin, den Stahl mit einer Kunststoffschicht zu beschichten oder recyceltes Polyäthylen (siehe Solmax, Console oder Solgreen) zu verwenden.

9 Variante Gitter mit Vlies/Folie

9.1 Beschreibung

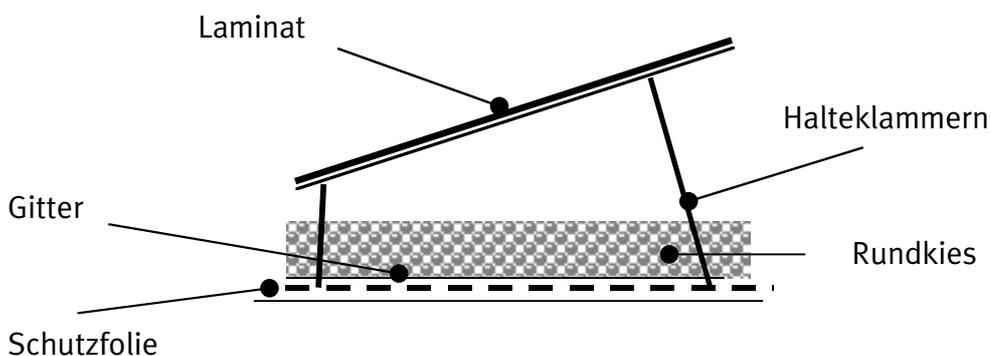


Bild 25. Ansicht der SOLight Variante, welche mit einem Gitter an Stelle einer durchgehenden Platte oder einem U-Profilblech ausgeführt wird.

An Stelle einer durchgehenden Platte kommt unter das Rundkies ein Gitter zu liegen, über welchem eine Folie verlegt wird. Diese Folie verhindert, dass das Rundkies durch das Gitter fällt.

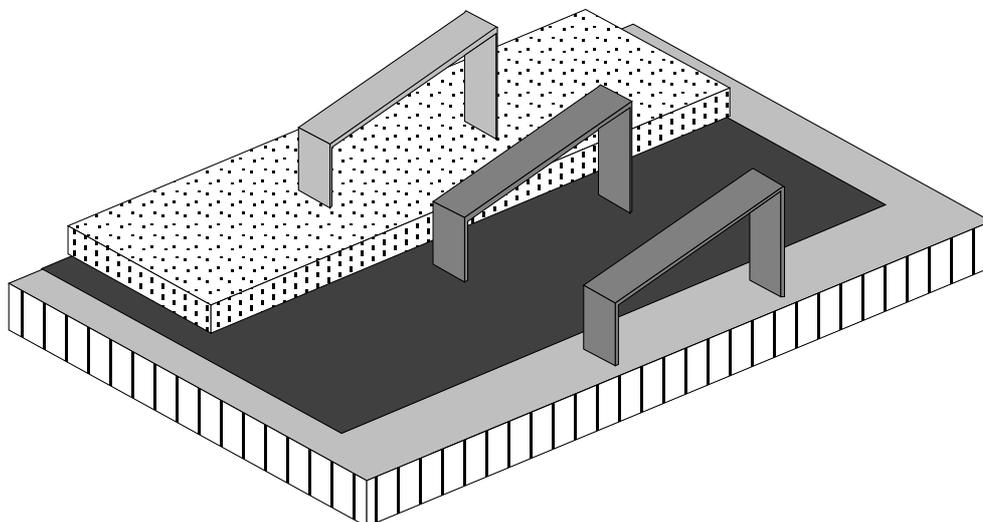


Bild 26. Schematische Darstellung der Variante Gitter mit Vlies/Folie

Diese Teillösung ist eine Reduktion der Variante, welche mit einer durchgehenden Platte fundiert wird.

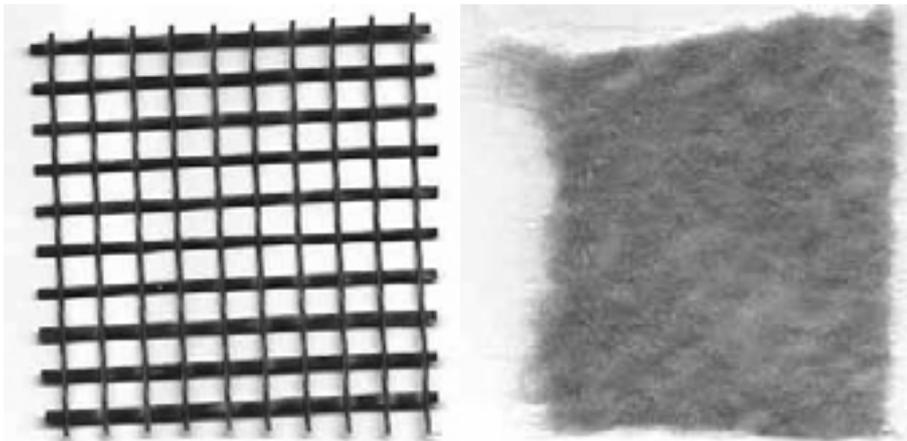


Bild 27. Muster von Kunststoff-Armierungsgitter (links) und Bauvlies. Beide Materialien werden erfolgreich in der Baubranche eingesetzt.

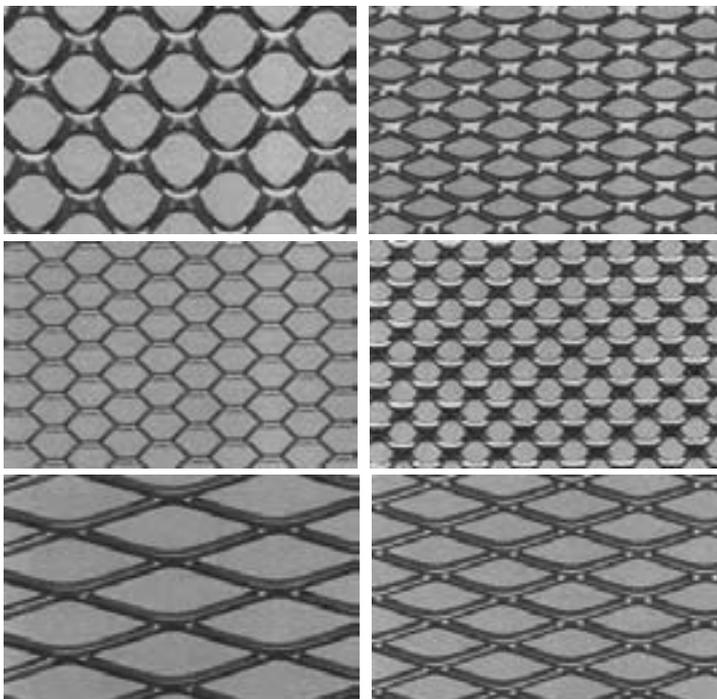


Bild 28. Muster von handelsüblichen Metallstreckgitter, welche in einer Vielzahl von Materialien und Ausführungen erhältlich sind.

9.2 Gewicht

	Variante Gitter mit Vlies / Folie
Zusatzbelastung des Daches pro m ² Solarmodulfläche bei einer Kieshöhe von 8 cm (mittlerer Wert) inkl. Solarmodul	15.4 kg
Zusatzbelastung des Daches pro m ² Solarmodulfläche bei einer Kieshöhe von 5 cm (mittlerer Wert) inkl. Solarmodul	17.0 kg
Zusatzbelastung des Daches pro m ² Solarmodulfläche bei einer Kieshöhe von 3 cm (mittlerer Wert) inkl. Solarmodul	19.8 kg

Tabelle 29. Gewicht pro m² Solarmodulfläche. Detailliertere Angaben und Ausrechnungen befinden sich im Anhang

Von dieser Variante wurden keine genaueren Kostenabklärungen gemacht, da bezüglich Materialwahl gewisse Probleme entstehen. Als mögliche Materialien wären Chromnickelstahl oder Stahl welcher plastifiziert wird denkbar.

Man hat nicht so eine grosse Auflagefläche wie mit einem Blech, was zu grösseren Punktbelastungen des Daches führt, und die Dachhaut gefährdet. Jedoch wäre denkbar mit einer genug widerstandsfähigen Folie die Dachhaut zu schützen, so dass geringere Reibungsbelastungen entstehen und die Dachhaut nicht verletzt wird.

10 Variante Einzelne Platten mit Vlies/Folie

10.1 Beschreibung

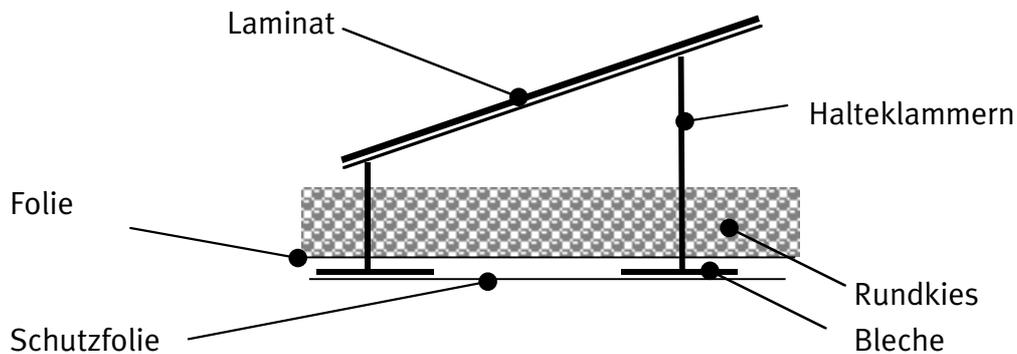


Bild 30. Ansicht der SOLight Variante ‚Einzelne Platten mit Vlies/Folie‘

Gegenüber der vorherigen Variante wird nochmals eine Stufe reduziert: zur Fundierung der Module eine reissfeste Folie verwendet, welche über einzelne Platten, eine Art umgekehrte ‚Reisnägel‘ oder tellerförmige Platten mit Stützen, verlegt und vom Rundkies beschwert wird.

Legende :

1. Wärmedämmung
2. Abdichtung
3. Folie
4. Rundkies
5. Modulträger
6. Platte

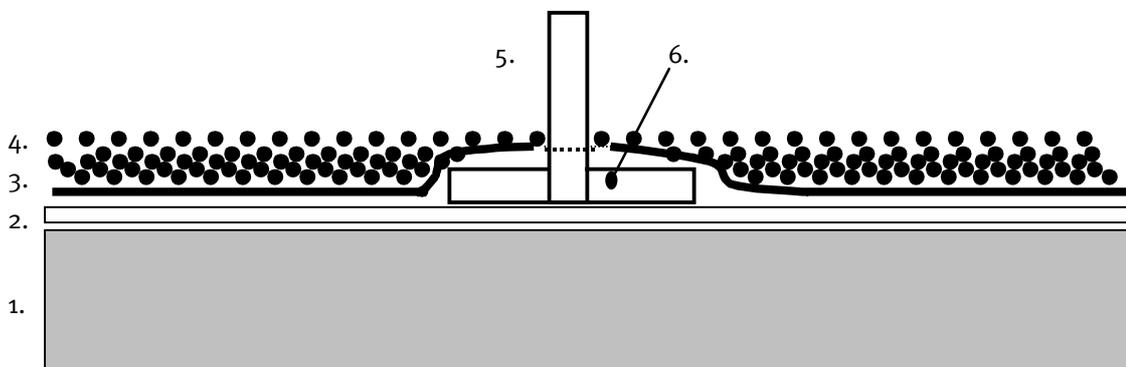


Bild 31. Skizze SOLight auf Flachdach: Der Modulträger soll unten eine tellerförmige Struktur aufweisen (rund oder quadratisch). Darüber wird ein Folie oder ein Vlies verlegt, welches beim Träger durchstossen wird. Über die Folie kommt danach wieder das Rundkies als Beschwerungsschicht.

10.2 Gewicht

Für diese Teillösung wurden ebenfalls verschiedene Ausführungen und Materialien in Betracht gezogen. Auf das Gewicht der Aufständering haben die verschiedenen Materialien aber einen geringeren Einfluss als bei massiveren Varianten, da die Metallkonstruktion, für welche Aluminium oder Stahl verwendet werden kann viel weniger massiv ist als beispielsweise bei der Variante mit einer durchgehenden Platte, wo das Material eine entscheidende Rolle für das Gesamtgewicht der Aufständeringstruktur spielt. Für folgende Gewichtsangaben wurde ein Mittelwert verwendet. Detailliertere Angaben befinden sich im Anhang.

	Variante Einzelne Platten mit Vlies/Folie
Zusatzbelastung des Daches pro m ² Solarmodulfläche bei einer Kieshöhe von 8 cm (mittlerer Wert) inkl. Solarmodul	15.1 kg
Zusatzbelastung des Daches pro m ² Solarmodulfläche bei einer Kieshöhe von 5 cm (mittlerer Wert) inkl. Solarmodul	15.7 kg
Zusatzbelastung des Daches pro m ² Solarmodulfläche bei einer Kieshöhe von 3 cm (mittlerer Wert) inkl. Solarmodul	16.7 kg

Tabelle 32. Gewicht pro m² Solarmodulfläche. Für die Gewichtsangaben wurden Mittelwerte verwendet. Detailliertere Angaben befinden sich im Anhang

10.3 Folie/Vlies

Die Anforderungen an die Folie/das Vlies sind vor allem Reissfestigkeit, Witterungs- bzw. Alterungsbeständigkeit, geringes Gewicht. Eine Möglichkeit wäre, als Folie/Vlies dasselbe Produkt zu verwenden wie als Abdichtung unter der Rundkiesschicht verwendet wird (z.B. Sarnafil TG 66). Falls dieses zu elastisch sein sollte, könnte man auf das Sarnafil TS 77 ausweichen, welches bei Dächern ohne Schutzschicht verwendet wird und eine Verstärkung aus einem armierten Metallgittergewebe hat.

Produkt	Gewicht (kg/m ²)	Dicke (mm)	Reissfestigkeit/Höchstzugkraft
TG 66-16	1.6	16	9 N/mm ²
TS 77-16	1.76	16	1100 N/50 mm

Tabelle 33. Angaben zu möglichen Folien (Sarnafil Abdichtungen)

/5/

10.4 Aufständering

Für das Aufständering-System können verschiedene Materialien in Betracht gezogen werden. Zum Beispiel Kunststoff, Aluminium, Stahl unbehandelt, Stahl verzinkt, Nickelchromstahl. Diese Materialien müssen auf Wetterbeständigkeit (Korrosion) und auf ökologische Aspekte geprüft werden.

Metall	Spezifikation	Recyclatanteil (%)	Graue Energie (MJ/kg)
Profile, Grobblech	Unlegiert	100	12.4
Profile, Grobblech	Hochlegiert, (16% Chrom, 13 % Nickel)	0	100
Aluminium	Bleche Profile	0	210

Tabelle 34. Angaben zu möglichen Materialien für die Aufständering

/4/

Nach ökologischen Aspekten beurteilt ist unlegierter Stahl am sinnvollsten. Die anderen Materialien sind schwierig bis gar nicht als Recyclingprodukte zu erhalten. Bei Aluminium beispielsweise wird im Baubereich wegen Korrosionseigenschaften hauptsächlich Primäres verwendet.

Als weitere Möglichkeit könnte man unlegierten Stahl verwenden, diesen aber oberflächenbehandeln lassen als Korrosionsschutz.

Oberflächenbehandlung	Bemerkungen	Graue Energie (MJ/m ²)
Verzinken	Stückverzinken pro m ² , inkl. Metallvorbehandlung und Beschichtungsmaterial (Schichtdicke 28 µm, 200g/m ² , ca. 16 MJ/m ²)	46
Glanzverchromen	Herstellerangaben, inkl. Metallvorbehandlung und Beschichtungsmaterial (Schichtdicke 1 µm, 7.2 g/m ² , ca. 2 MJ/m ²)	10

Tabelle 35. Angaben zu möglichen Oberflächenbehandlungen

/4/

Normaler Stahl wäre wahrscheinlich trotz Oberflächenbehandlung nicht gut genug gegen Korrosion geschützt, da der untere Teil der Aufständering längere Zeit Wasser ausgesetzt sein könnte.

10.5 Punktbelastungen und Reibung

Das grösste Problem dieser Variante sind die Punktbelastungen und Reibungen die auf der Dachhaut durch die Aufständerungsstruktur entstehen und diese beschädigen könnten. Da das System sehr leicht ist und eine relativ kleine Auflagefläche hat sind die Belastungen welchen die Dachhaut ausgesetzt ist grösser als bei anderen massiveren Varianten. Die Aufständerungsstruktur wird durch den Wind schneller verschoben oder in Vibration versetzt als bei massiveren Ausführungen, was nicht nur die Dachhaut, sondern auch die über den Platten verlegte Folie beschädigen kann.

11 Variante Bügel mit Vlies/Folie

11.1 Beschreibung

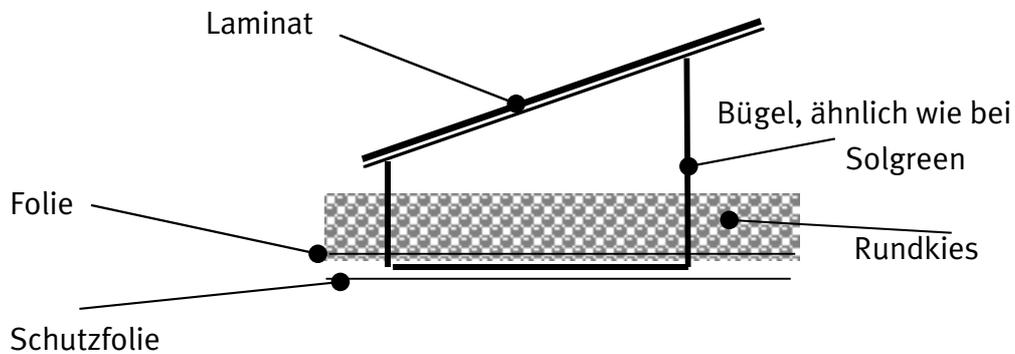


Bild 36. Ansicht der SOLight Variante ‚Bügel mit Vlies/Folie‘

Ein ähnliches System wie bei der Variante Einzelne Platten mit Vlies/Folie, nur wird an Stelle der einzelnen Platten ein durchgehender Bügel verwendet, über welchen eine Folie oder ein Vlies verlegt wird.

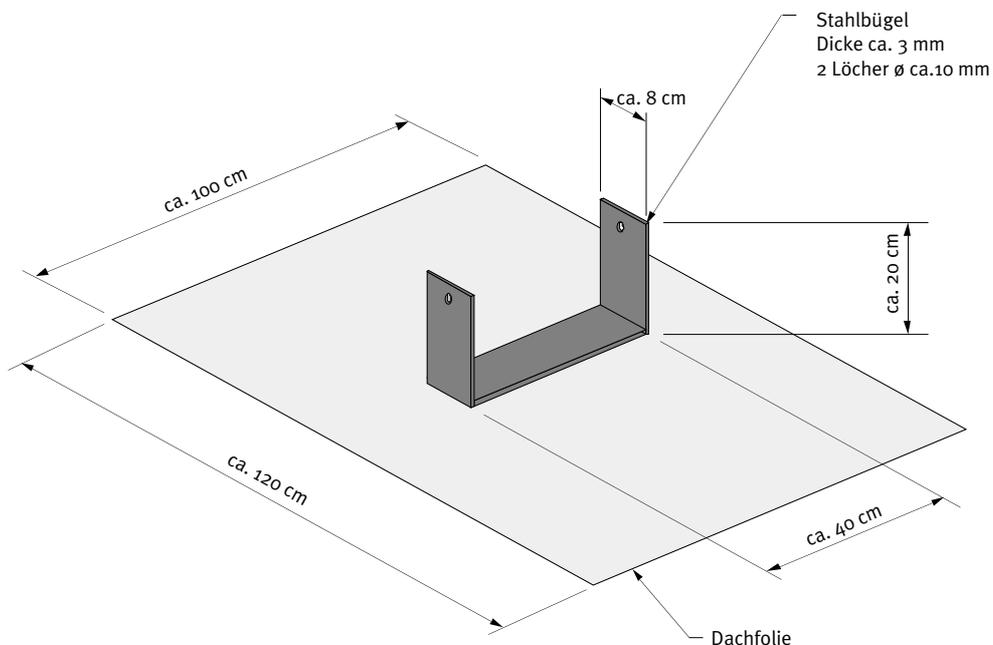


Bild 37. Ansicht der Versuchs-Variante ‚Bügel mit Vlies/Folie‘ mit ca. Massen

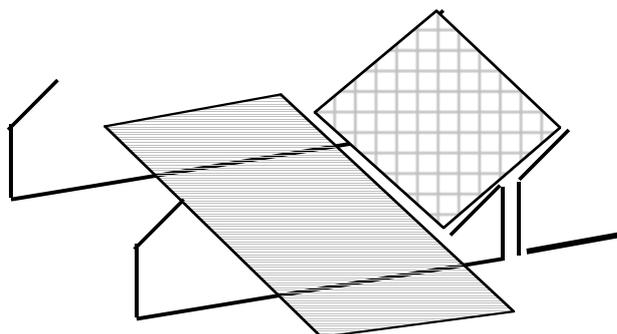


Bild 38. Perspektivische Abbildung einer Abänderung der beschriebenen SOLight Variante mit Bügel und Vlies bzw. Folie

11.2 Gewicht

Betrachtet man das Zusatzgewicht pro Quadratmeter Solarmodulfläche welches auf das Flachdach kommt, liegt diese Teillösung sehr nahe bei der Variante Einzelne Platten mit Vlies/Folie. Je nachdem welches Gewicht man annimmt für die Aufständering (ohne Folie) ist die eine oder andere Variante leichter.

	Variante Bügel mit Vlies/Folie
Zusatzbelastung des Daches pro m ² Solarmodulfläche bei einer Kieshöhe von 8 cm (mittlerer Wert) inkl. Solarmodul	14.1 kg
Zusatzbelastung des Daches pro m ² Solarmodulfläche bei einer Kieshöhe von 5 cm (mittlerer Wert) inkl. Solarmodul	14.7 kg
Zusatzbelastung des Daches pro m ² Solarmodulfläche bei einer Kieshöhe von 3 cm (mittlerer Wert) inkl. Solarmodul	15.7 kg

Tabelle 39. Gewicht pro m² Solarmodulfläche. Detailliertere Angaben und Ausrechnungen befinden sich im Anhang

11.3 Punktbelastungen und Reibung

Das Problem dieser Variante ist ebenfalls die punktuelle Belastung des Daches und die Reibung und Vibrationen, welche bei Windbelastung entstehen können weil das System nicht genug stabilisiert ist. Mit Querverstrebungen könnte man jedoch dem System die nötige Stabilität verleihen. Eventuell muss man bei dieser Variante eine relativ massive Folie zwischen Dachhaut und Bügel verlegen um die Dachhaut nicht zu gefährden.

12 Variante Gewellte Platte durchgehend

12.1 Beschreibung

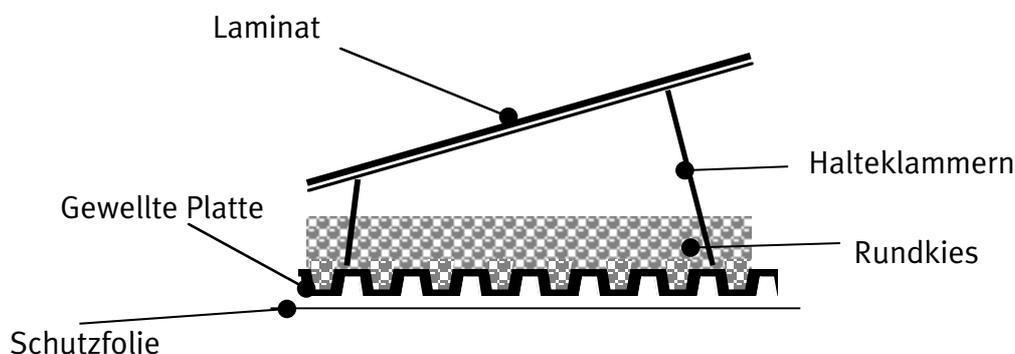


Bild 40. Ansicht der SOLight Variante, welche mit einer gewellten Platte fundiert wird.

Ähnlich wie die Variante ‚Aufgebogene Platte‘. Nur wird eine gewölbte Platte verwendet, wie sie zum Beispiel von der Firma Montana fertig geliefert werden kann. Der Vorteil dieser Variante ist, dass die Platte schon eine Struktur aufweist und deshalb nicht mehr an den Kanten extra aufgebogen werden muss. Ausserdem wird durch die Struktur der Platte eine grossflächige unerwünschte Verlagerung des Rundkieses erschwert.

Es wurden für diese Teillösung drei verschiedene Ausführungen gerechnet. Bei allen besteht die Platte, welche als Fundation verwendet wird aus blankem Aluminiumblech. Die verschiedenen Ausführungen sind für unterschiedliche Anzahl Solarmodule konzipiert. Die kleinste für ein Solarmodul, die grösste für 6 Module oder Lamine. Der Vorteil einer Variante, welche für mehrere Module ist die zusätzliche Stabilität, welche entsteht wenn man eine grössere Auflagefläche und eine bessere Gewichtverteilung hat und somit die ganze Aufständersstruktur träger wird und sicherlich bei Windbelastungen stabiler bleibt.

12.2 Gewicht

	Blech für 1 Modul	Blech für 3 Module	Blech für 6 Module
Abmessung	1000 x 1000 mm	3000 x 1000 mm	6000 x 1000 mm
Gewicht des Bleches	3.5 kg	10.5 kg	21 kg
Zusatzbelastung des Daches pro m ² Solarmodulfläche bei einer Kieshöhe von 5 cm (mittlerer Wert) inkl. Solarmodul	17 kg	17 kg	17 kg
Graue Energie (MJ/Blech)	735 MJ	2205 MJ	4410 MJ
Kosten pro installiertem Watt fertig verlegt	0.66 SFr/Watt	0.64 SFr/Watt	0.64 SFr/Watt

Tabelle 41. Vergleich von Gewicht, grauer Energie und Kosten von verschiedenen Ausführungen der Variante mit gewelltem Aluminiumblech.

12.3 Kosten

	Flachdach mit 5 cm Kies	Flachdach mit 3 cm Kies
Ausführung für 1 Modul (1 mm Alublech blank)	0.66 Fr./Watt	0.79 Fr./Watt
Ausführung für 3 Module (1 mm Alublech blank)	0.64 Fr./Watt	0.77 Fr./Watt
Ausführung für 6 Module (1 mm Alublech blank)	0.64 Fr./Watt	0.77 Fr./Watt
herkömmliches System (Beton offen)	0.71 Fr./Watt	0.71 Fr./Watt

Tabelle 42. Kosten pro installiertem Watt fertig verlegt verglichen mit einem herkömmlichen System. Detailliertere Angaben und Ausrechnungen befinden sich im Anhang.

Auf einem Flachdach mit 5cm Kies sind alle drei SOLight Wellblech-Varianten kostengünstiger als ein herkömmliches System. Auf einem Flachdach mit 3cm Kies ist dies genau umgekehrt, da grössere Bleche verwendet werden müssen um die Windfestigkeit zu garantieren. Jedoch ist zu bemerken dass viele herkömmliche Aufständersstrukturen für Dächer mit 3cm Kies, welche häufig nur geringe statische Reserven aufweisen ungeeignet sind, da sie viel zu viel Zusatzgewicht pro m² aufs Dach bringt. Diese Variante scheint bezüglich Kosten eine sinnvolle Lösung zu sein. Die Variante für 1 Modul ist pro installiertem Watt 0.02 Fr. teurer da zusätzlich Kosten für das Schneiden des Aluminiumbleches entstehen.

12.4 Problematik

Bezüglich Korrosion entstehen gewisse Probleme mit Aluminiumblech. Das Blech muss zusätzlich geschützt werden.

13 Beurteilung der verschiedenen Teillösungen

13.1 Übersicht

Teillösungen	Zusatzgewicht auf Flachdach	Wetter- und Korrosionsbeständigkeit	Kosten	Probleme Bemerkungen	Durchführbarkeit
D1E1G3 Aufgebogene Platte (Stahlblech verzinkt)	K	L	K	Verzinktes Stahlblech ist aus Gründen der Korrosionseigenschaften ziemlich ungeeignet, wenn es zwischendurch nicht vollständig trocknen kann	nein
D1E1G3 Aufgebogenes Platte (Aluminiumblech eloxiert)	J	J	L	Diese Variante weist eigentlich keine unlösbaren technischen Probleme auf. Das Problem dieser Variante sind aber die Kosten, welche die von schon bestehenden Systemen (zum Beispiel SOFREL) um bis zu 50 % überschreiten.	ja
D1E1G4 Gewellte Platte durchgehend	J	J	J	Eine technisch sehr einfach durchzuführende Variante, welche sicherlich aus technischer Sicht geeignet wäre. Die Kosten für das System halten sich ebenfalls relativ niedrig, da die Bleche von Montana fertig geliefert werden und nicht mehr nachbearbeitet werden müssen. Bezüglich Materialeigenschaften müssen aber noch genauere Abklärungen gemacht werden.	ja
D23E2 Gitter mit Vlies/Folie	J	L	k.A.	Beim Gitter treten gewisse Probleme auf mit der Korrosion des Gitters, welche man	evtl. wie oben und falls geeigneter

				aber sicher beheben könnte. Der zweite Schwachpunkt des Gitters ist ebenfalls die Stabilität, welche auch geringer ist als bei den Blechvarianten.	Korrosionsschutz gefunden wird.
D23E3 Einzelne Platten mit Vlies/Folie	JJ	K	k.A.	Bei der Variante Einzelne Platten mit Vlies/Folie entstehen gewisse Probleme mit der Stabilität des Systems, bzw. Reibungen und Vibrationen welche die Dachhaut verletzen können. Es treten auch grössere Punktbelastungen auf als bei den Varianten, welche eine feste Fläche haben, z.B. ein Blech.	evtl., falls eine Möglichkeit gefunden wird das System genügend zu stabilisieren und die Punktbelastungen zu verteilen
D23E4 Bügel mit Vlies/Folie	JJ	K	k.A.	Die selben Probleme wie bei der Variante Einzelne Platten mit Vlies/Folie mit Reissnägel.	evtl. wie oben

Tabelle 43. JJ sehr gut, J gut, K genügend, L schlecht

13.2 Vlies/Folie mit einzelnen Platten oder Bügel

Diese Varianten sind vom Zusatzgewicht her, welches sie auf das Dach bringen die geeignetsten. Sie haben durch ihren minimalistischen Aufbau (Nur Halterungen der Solarmodule und Folie als Verankerung) ein sehr geringes Eigengewicht. Dieser Vorteil bringt aber auch Nachteile mit sich. Eben gerade durch diesen sehr reduzierten Aufbau und das geringe Gewicht entstehen Probleme mit der Stabilität. Mit einem reissfesten Folie wäre das eine Problem, die Garantie der Windfestigkeit nach SIA Norm 160/1 sicherlich lösbar. Ein weiteres Problem dieser Variante sind aber die Punktbelastungen und Reibungen, sowie Vibrationen auf dem Dach, welche die Dachhaut, sowie die verlegte Folie beschädigen könnten. Nach Aussagen von Herrn Bischoff (Verkaufsleiter Sarnafil AG) sei ein solches System undenkbar. Um ein System dieser Art zu realisieren, müsste man es irgendwie zusätzlich stabilisieren, zum Beispiel mit Querverstrebungen.

13.3 Gitter mit Vlies/Folie

Diese Variante ist die etwas massivere Ausführung der Variante Einzelne Platten mit Vlies/Folie . Es wird ein Gitter verwendet, welches unter der

Folie verlegt wird und an welches die Halteklammern befestigt werden. Bei diesem System ist sicherlich die Korrosion eines der Hauptprobleme, welches aber sicherlich mit einer etwas teureren Lösung realisierbar wäre. Das zweite Problem ist, dass auch bei dieser Variante relativ grosse Punktbelastungen entstehen, welche bei Vibrationen die Dachhaut verletzen könnten.

13.4 Aufgebogene Platte (Stahlblech verzinkt)

Diese Variante ist kaum realisierbar, da verzinktes Stahlblech aus Korrosionsgründen ungeeignet ist. Es existieren zwar Stahlblechdächer, welche auch der Verwitterung ausgesetzt sind, aber diese sind frei, nicht mit Rundkies bedeckt. Das Problem vom Rundkies liegt darin, dass das Dach längere Zeit nicht mehr richtig trocknen kann und so eine Zinkkorrosion beginnt.

13.5 Aufgebogene Platte (Aluminiumblech eloxiert)

Eine Variante die sicherlich realisierbar wäre. Zwischen die Dachhaut und das Aluminiumblech sollte aber zum Schutz der Dachhaut noch eine Schutzschicht verlegt werden. Die Punktbelastungen bei dieser Lösung sind minimal. Das Problem dieser Variante ist weniger die technische Ausführbarkeit, als die Kosten. Bei Dächern mit einer dünnen Kiesschicht (3 cm) kommt das System bis zu 50 % teurer als ein herkömmliches System. Aber auch bezüglich Materialeigenschaften müsste noch genaueres abgeklärt werden. Eventuell muss man das Aluminium auch in Plastik einfassen, oder die Platte aus recycliertem Polyäthylen hergestellt werden.

13.6 Gewellte Platte durchgehend

Eine Teillösung die der Variante, welche mit einem aufgebogenen Blech ausgeführt wird sehr ähnlich ist, ihr gegenüber aber bestimmte, vor allem wirtschaftliche Vorteile hat. Diese Wellbleche gibt es als verzinkte Stahlbleche, Chromstahlbleche oder als Aluminiumbleche (z.B. bei der Firma Montana). Verzinkte Stahlbleche kommen aus Korrosionsgründen nicht in Frage. Wenn man das teurere Aluminiumblech nimmt, kommt es aber immer noch günstiger als ein herkömmliches Aufständersystem. Der Vorteil gegenüber der anderen Blech-Variante ist aber nicht nur der Preis. Die Variante Aluminiumwellblech ist auch leichter als die Kuchenblech-Variante, da das Blech nicht flach sondern strukturiert ist und so zusätzlich stabilisiert wird, kann dünneres Blech verwendet werden. Diese Materialeinsparungen schlagen sich auch positiv auf die Ökobilanz aus. Wie bei der Variante mit einem flachen aufgebogenen Blech sollte zum Schutz der Dachhaut ein Folie zwischen dem Blech und der Dachhaut verlegt wird.

Auch diese Teillösung könnte aus recycliertem Polyäthylen hergestellt werden. /9/

14 Experimente für SOLight

14.1 Ziel des Experimentes

Das Ziel des Experimentes war es, die theoretischen Grundlagen des Schüttverhaltens von Kies auf Flachdächern mit dem praktischen Verhalten zu vergleichen. Durch die verschiedenartigen Belastungen wird versucht das Verhalten einer Folie unter Zugbelastung sowie mit unterschiedlich auftretenden Reibungskräften zu erfassen. Durch dieses Experiment war Form und Grösse des Aufständersystems zu bestimmen sowie herauszufinden, ob das System SOLight in der beschriebenen Form überhaupt ausführbar ist.



Bild 44. Darstellung der drei grundsätzlichen Belastungsmuster für Grundplatten mit Kiesbeschwerung.

14.2 Physikalisches Modell der Kräfte

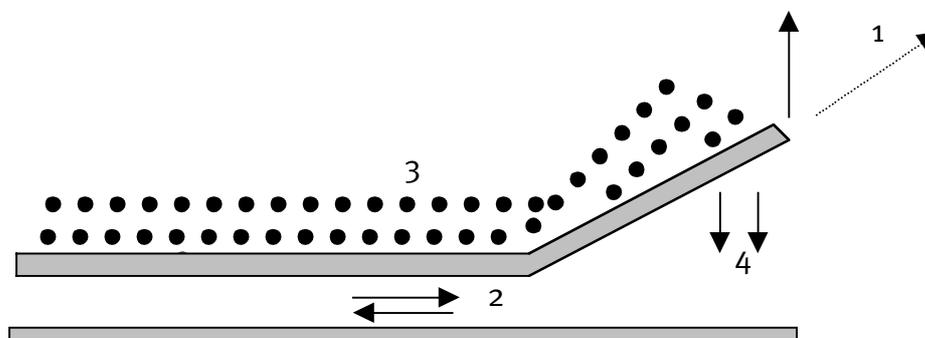


Bild 45. Auftretende Kräfte: 1. Externe einwirkende Kraft (Wind), 2. Reibungskraft zwischen Vlies und Abdichtung, 3. Reibung Kies-Vlies in Funktion des spezifischen Schüttwinkels des Kieses, 4. Schwerkraft

14.3 Beschreibung

In diesem Experiment wird ein Kiesflachdach simuliert. Dieses wird eine Abdichtungsschicht, welche auch auf richtigen Dächern gebraucht wird als unterste Schicht haben. Eventuell kommt aber noch eine Wärmedämmschicht darunter, falls dies sich für ein realistisches Szenario als notwendig erweisen würde. Darüber wird ein Vlies verlegt, welches für SOLight verwendet werden soll, und als oberste Schicht kommt das Rundkies darüber.

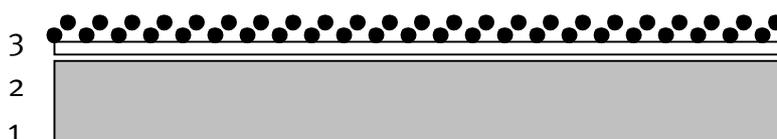
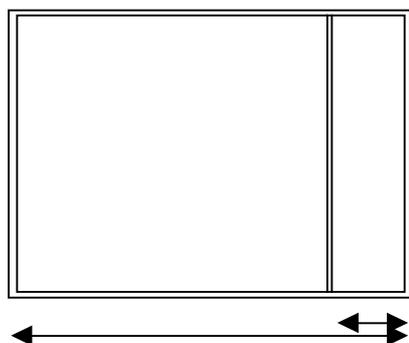


Bild 46. Aufbau des Experimentdaches : Wärmedämmschicht (1), Abdichtung (2), Rundkiesschicht (3), wobei die Wärmedämmschicht nicht zwingend benötigt wird, nur falls sich herausstellen würde, das die Reibungseffekte zwischen Wärmedämmschicht und Abdichtung eine Rolle spielen.

Aufsicht :



Ansicht :

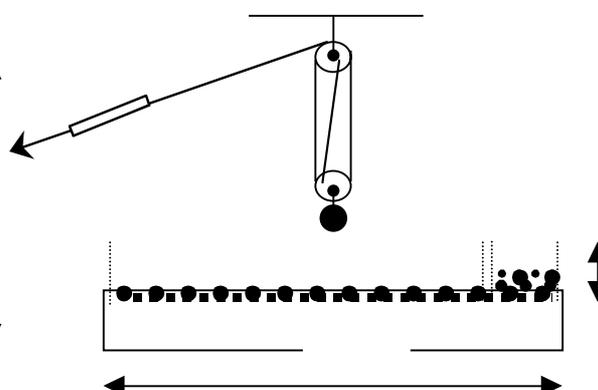


Bild 47. Das Simulationsdach soll eine Grösse haben von 2 x 3 Meter, wobei ein Teil davon für ein Kieslager verwendet werden soll. Die Höhe des Kieses auf Flachdächern ist zwischen 3 und 8cm. Die Ausreisskräfte werden mit einem Flaschenzug simuliert, welcher über dem künstlichen Flachdach angebracht wird. Mit einer Federwaage kann jederzeit kontrolliert werden mit wieviel Kraft gezogen wird.

14.4 Verwendetes Material

Rundkies ca. 0.5 m³: Üblicherweise wird Rundkies Typ 16/32 mit einem Brechkornanteil von höchstens 15 % verwendet /1/

Holz : 2 St. 0.3m x 3m , 3 St. 0.3m x 2m

Flaschenzug : 2 Umlenkrollen, Seil, Federwaage

Oberste Flachdachabdeckung

Abdichtung Sarnafil TG 66, Wärmedämmung, Vlies

Verwendete Abdichtungen von Sarnafil :

- Für Flachdächer mit Schutzschichten (z.B. aus Rundkies) :

Sarnafil TG 66 (lose verlegt)

TG 66-16 Dicke = 1.6mm

TG 66-18 Dicke = 1.8 mm

- Für Flachdächer ohne Schutzschichten (Nacktdach) :

Sarnafil TS 77 (mechanisch befestigt)

Als Wärmedämmung kann z.B. Sarnatherm T verwendet werden. /5/

14.5 Ablauf des Experimentes

Auf das künstliche Dach wird das Vlies ausgelegt und darüber das Rundkies ausgebreitet. Da auf herkömmlichen Kiesflachdächern die Kiesmächtigkeiten variieren zwischen 3 und 8 cm, werden wir bei diesem Experiment auch mit verschiedenen Kiesschichtdicken arbeiten. Am kritischsten für die Windfestigkeit ist die dünnste Schicht, aber wieviel die Schichtdickenunterschiede für die Windfestigkeit ausmachen soll mit diesem Experiment unter anderem auch geklärt werden.

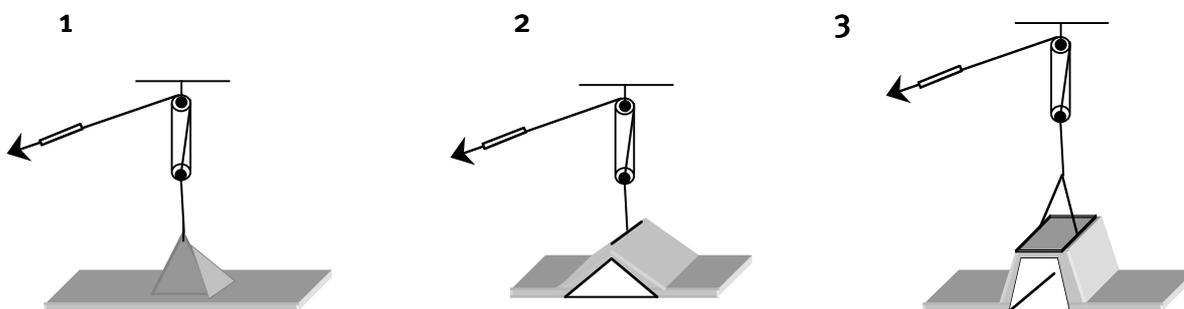


Bild 48. Das Vlies wird bei diesem Experiment verschiedenen Belastungen ausgesetzt :Punktförmige Belastung (1), Linienförmige Belastung (2), Flächenförmige Belastung (3)

14.6 Ausführung des Zugkraft-Experimentes

14.6.1 Bildabfolge



Bild 49. Bild der Experimentieranordnung im Massstab 1:1.

Schritt 1: Verlegen der Dachfolie



Bild 50. Bild der Experimentieranordnung im Massstab 1:1.

Schritt 2: Auflegen des SOLight-Musters auf die Dachfolie



Bild 51. Bild der Experimentieranordnung im Massstab 1:1.

Schritt 3: Verlegen der Vlieszwischenlage und beschweren mit Kies



Bild 52. Bild der Experimentieranordnung im Massstab 1:1.

Schritt 4: Ausziehversuch nach oben (im Bild sichtbar das Dreibein) und anschließende Beurteilung der Veränderungen an Vlies, SOLight-Muster, Kies und Dachfolie

14.6.2 Vorgehen Versuchsdurchführung

1. Freigeräumte Kiesfläche -----> hartgepresster Untergrund / kein Beton, sondern Kies-Erde-Gemisch
2. Belegung der Fläche mit Dachfolie (2_mal 1 x 2 m)
3. Plazierung des SOLight-Musters (je 35 cm Füße, Höhe 30 cm, Dicke 0.6 cm, Material Stahl, Breite 8 cm, Gewicht 6 kg)
4. Plazierung Vlies (KN 17 / 200 g/m², eingeschnitten um über hervorstehendes SOLight-Muster zu stülpen, Grösse 1 x 2 m)
5. Bedeckung des Vlieses [plus 10 – 20 cm weiter hinaus] mit 5 cm Kies (16/30 gewaschener Kies)
6. Montage Messsystem (Dreibein ausrichten, Anbringung Messlatte, Federwaage udgl.)
7. Vertikale Anhebung der Versuchseinrichtung anhand hervorstehenden Kreuzbein

14.6.3 Resultate

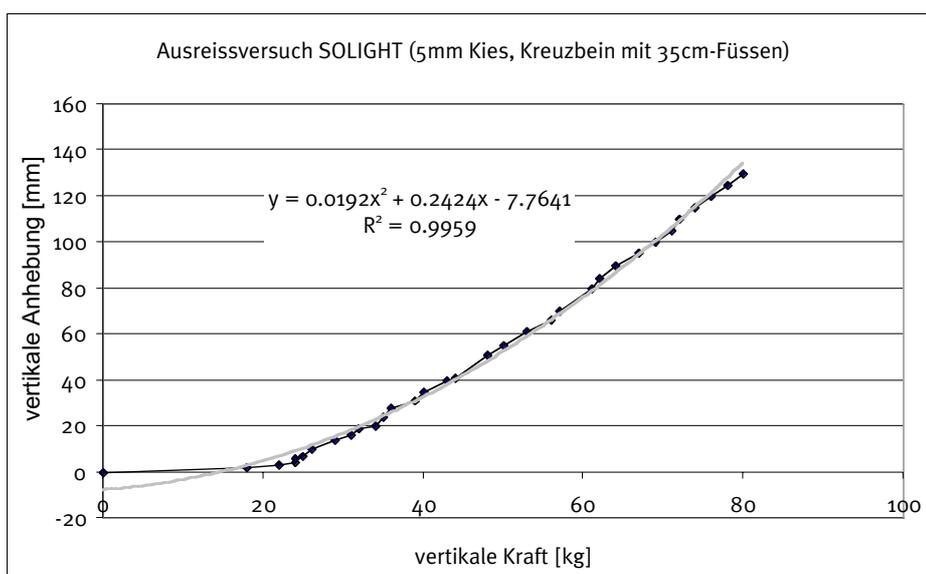


Bild 53. Resultate des Ausreissversuches mit SOLight-Muster "Kreuzbein 35 cm" und 5 cm Kiesbeschwerung. Bei einer vertikalen Zugbelastung nach oben von rund 20 kg-Äquivalent hebt sich die Anordnung rund 0.2 cm/kg, bei rund 80 kg ca. 13 cm.

Bei Windgeschwindigkeiten von 140 km/h wird allgemein eine vertikale Kraft von rund 25 bis 30 kg erwartet, was je nach Versuchsanordnung einer Anhebung von 1 bis 2 cm entspricht (Annahmen: 1 Stütze pro 0.5 m², Dachhöhe über Gelände 10 m, Eigengewicht der Konstruktion inkl. Modul 20 kg/m², Druckbeiwerte für Teilflächen nach SIA 160). Für exaktere Berechnungen einzelner Aufständervarianten werden Versuche in Windkanälen notwendig, da heute noch keine zugeschnittenen Simulationsmodelle für Solaranlagen bestehen.

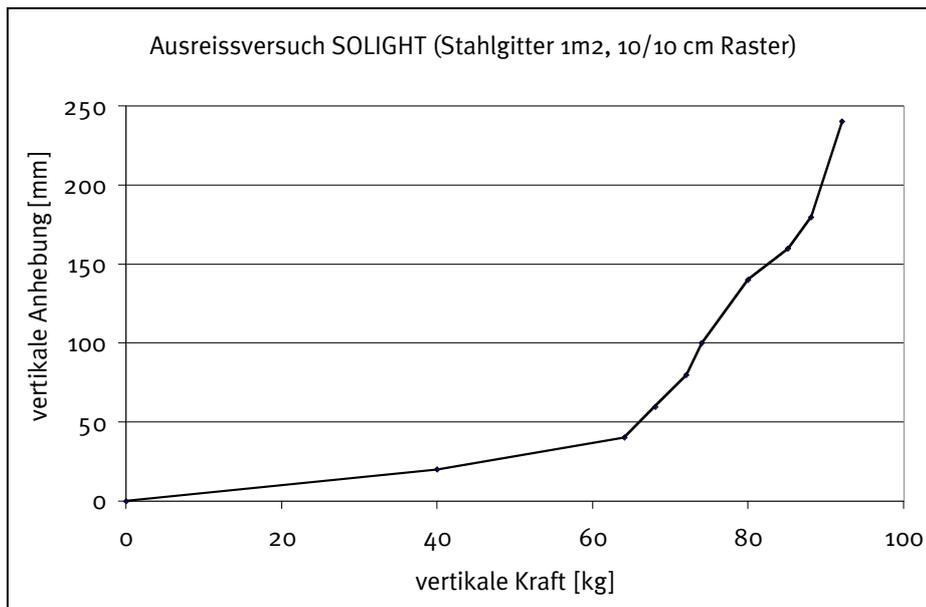


Bild 54. Resultate des Ausreissversuches mit SOLight-Muster "Stahlgitter 1 m2, Raster 10/10 cm" und 5 cm Kiesbeschwerung. Bei einer vertikalen Zugbelastung nach oben von rund 60 kg-Äquivalent hebt sich die Anordnung definitiv ab .

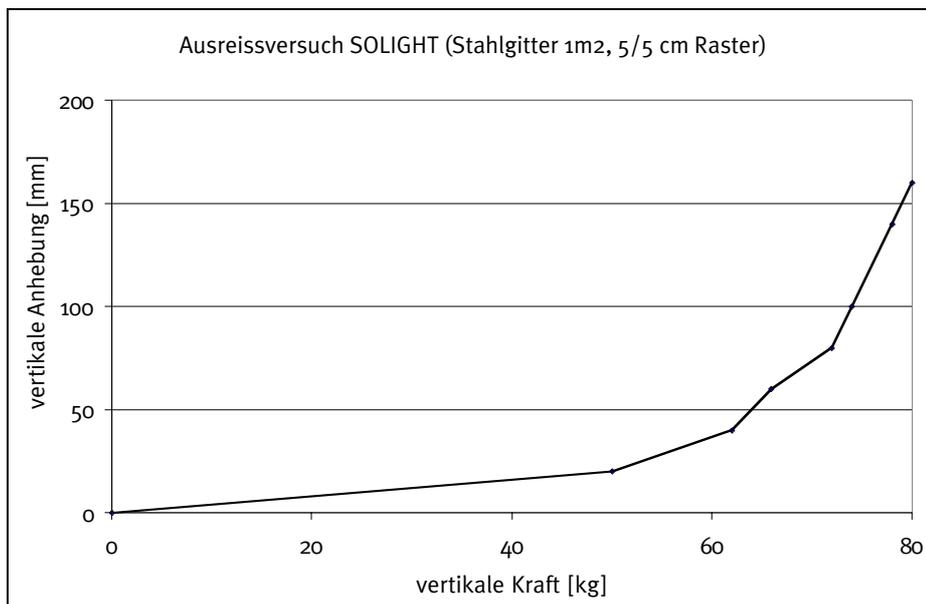


Bild 55. Resultate des Ausreissversuches mit SOLight-Muster "Stahlgitter 1 m2, Raster 5/5 cm" und 5 cm Kiesbeschwerung. Bei einer vertikalen Zugbelastung nach oben von rund 60 kg-Äquivalent hebt sich die Anordnung definitiv ab, verhält sich aber in etwa identisch wie das SOLight-Muster "Stahlgitter 1 m2, Raster 10/10 cm" oben .

14.7 Anmerkungen zum Experiment

Folgende Faktoren muss eine entscheidende Beachtung geschenkt werden:

- **Reibungskraft zwischen Vlies und Dachabdichtung**
 Die Reibungskraft zwischen dem Vlies und der obersten Dachhaut, vielfach die Dachabdichtung, hängt von den jeweiligen Materialeigenschaften ab. Die Reibungskraft kommt erst im kritischen Moment zum Tragen, wo das Eigengewicht, des sich auf dem Vlies befindenden Kiesel, die einwirkenden Kräfte nicht mehr kompensieren kann. Dieser Fall muss durch eine ausreichende Auslegung bzw. Modulstabilisierung untereinander ausgeschlossen werden.
- **Art der Dachabdichtung**
 Sollten die Reibungskräfte zwischen dem Vlies und der Dachabdichtung zu hoch sein, sodass sie einen wesentlichen Beitrag zur Kräfte-Stabilisierung beitragen, besteht die Möglichkeit der Dachverletzung. Ist die Reibungskraft zwischen Vlies und Dachabdichtung zu hoch, so besteht die Möglichkeit, dass sich anstelle der Vliesverschiebung gegenüber der Dachhaut, die Dachhaut gegenüber der vielfach darunterliegenden Wärmedämmung verschiebt. Dadurch können sich langfristig Risse in der Dachhaut bilden, welche die Dachdichtigkeit nicht mehr garantieren.
- **Schuttwinkel des Rundkiesel – Kieselbewegungen / Gewichtverschiebungen**
 Dem Schuttwinkel vom Rundkiesel kommt dann Bedeutung zu, wenn das Eigengewicht, des sich auf dem Vlies befindenden Kiesel, die einwirkenden Kräfte nicht mehr kompensieren kann. Wenn das Vlies angehoben wird, besteht die Möglichkeit, dass sich, je nach Steilheit der Anhebung, das Kiesel auf dem Vlies verschiebt.
 Ein Beispiel. Ausgangslage: gleichmässige Verteilung einer Kieseldecke von 5 cm auf der gesamten Vliesfläche. Hebt man das Vlies punktuell mit einer vertikalen Kraft bis über den Punkt an, bei dem sich der Standort einzelner Steine infolge Neigung und Schwerkraft in Abhängigkeit des Schuttwinkels verändern, entspricht die Gewichtsverteilung nach Entspannung der Anhebung nicht mehr der Ausgangslage. Rund um die Anhebungsstelle wird sich die Kieseldecke verringert, weiter aussen erhöht haben.
 Der Schuttwinkel des Rundkiesel bestimmt die maximal zulässige vertikale Kraft, bei der nach der Entspannung keine Gewichtsverschiebung stattgefunden hat. Je nach Grösse des Schuttwinkels wird die Zugkraft durch das Gewicht des Kiesel resp. durch die Reibungskraft zwischen Vlies und Abdichtung kompensiert.

15 Weitere Varianten mit ähnlichem Fundationsprinzip

15.1 Variante feste Bodenplatten mit metallischer Aufständerung

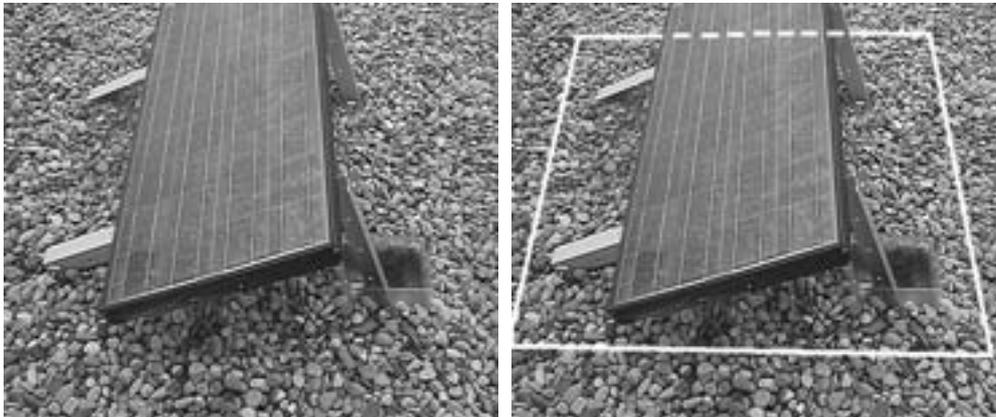


Bild 56. Aufständerung zur Halterung von Solarmodulen mittels einer festen Bodenplatte und fliegender Aufständerung: im Bild links die Testaufständerung, im Bild rechts weiss eingezeichnet die nicht sichtbare, unter dem Kies liegende Bodenplatte.

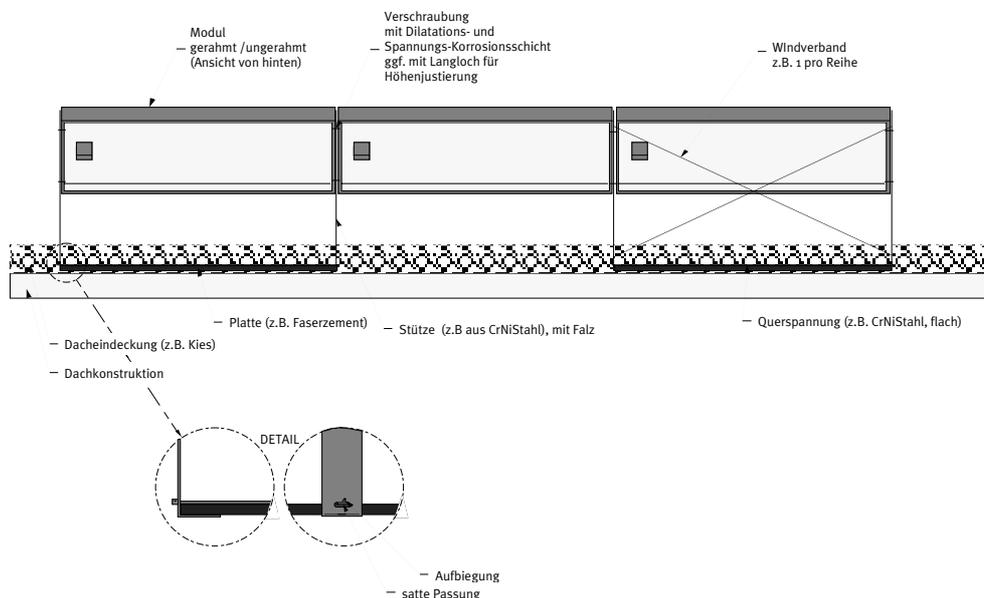


Bild 57. Weitere Überlegungsskizze zur Halterung von Solarmodulen mittels einer festen Bodenplatte und fliegender Aufständerung: Besondere Beachtung wurde der einfachen und schnellen Aufständerung gewidmet.

Aufständerungen zur Halterung von Solarmodulen mittels einer festen Bodenplatte und fliegender Aufständerung wurden in verschiedenen Überlegungen mit einbezogen und im Teststand auch aufgebaut. Bezüglich

Materialwahl wurde Abklärungen mit Faserzementplatten, Holzspanzementplatten u. ä. durchgeführt.

Hauptproblem beim Verlegen von Platten ist die Befürchtung, dass durch die mangelnde Be- und Entlüftung bzw. durch ungenügenden Gas- und Wasseraustausch unter der Platte die Dachhaut frühzeitig altern kann und ihre Funktion versagt, oder bei Umkehrdächern die Wärmedämmung durch den erhöhten Druck mit Feuchtigkeit geladen wird und somit ihre Dämmfunktion verliert.

Rückfragen bei Bauphysikern haben diesen Verdacht nicht bestätigt. Allerdings sei hier darauf hingewiesen, dass mehr als ein Flachdachspezialisten bei der Diskussion dieser Lösung darauf aufmerksam machte, dass er ähnliche Vorgänge in seinem Berufsleben bereits auf Dächern vorgefunden habe und deshalb dringend von einer solchen Lösung abraten würde. Diese Variante wurde nicht deshalb weiter verfolgt.

15.2 Variante einzelne Zementschrittplatten

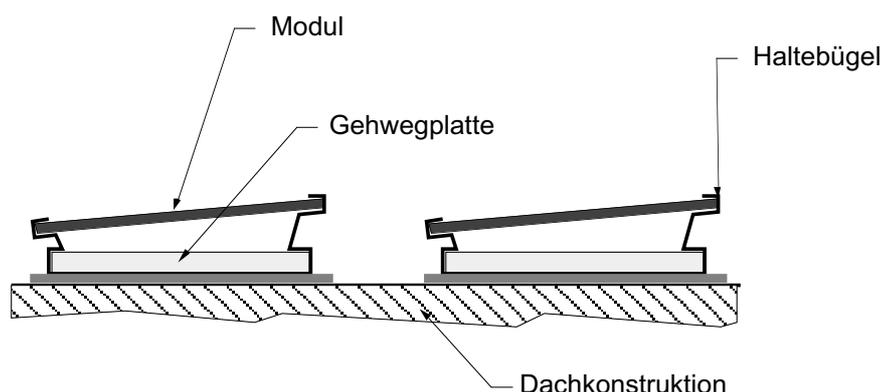


Bild 58. Überlegungsskizze zur Halterung von Solarmodulen mittels einzelner Zementschrittplatten

Die Module werden mittels Metallklammer direkt an den Zementschrittplatten gehalten. Diese Variante wurde nicht weiter verfolgt, da sie einem bescheidenen Marktbedürfnis entspricht und bei Bedarf relativ schnell selber realisiert und beschafft werden kann.

15.3 Verwendung von bestehenden Kunststoffformteilen

Bei der Bearbeitung der Aufgabe wurden ebenfalls auf dem Markt erhältlichen Formteile aus recyceltem Polyäthylen auf ihre mögliche Eignung für eine Leicht-Unterkonstruktion hin untersucht. Recyceltes Polyäthylen wird ja bereits von einigen Firmen erfolgreich in der Aufständigung von Solaranlagen eingesetzt. Die Abklärungen haben aber kein Ansätze zur Verwendung eines bestehend Formteils gezeigt, weshalb diese Variante nicht weiter verfolgt wurde.

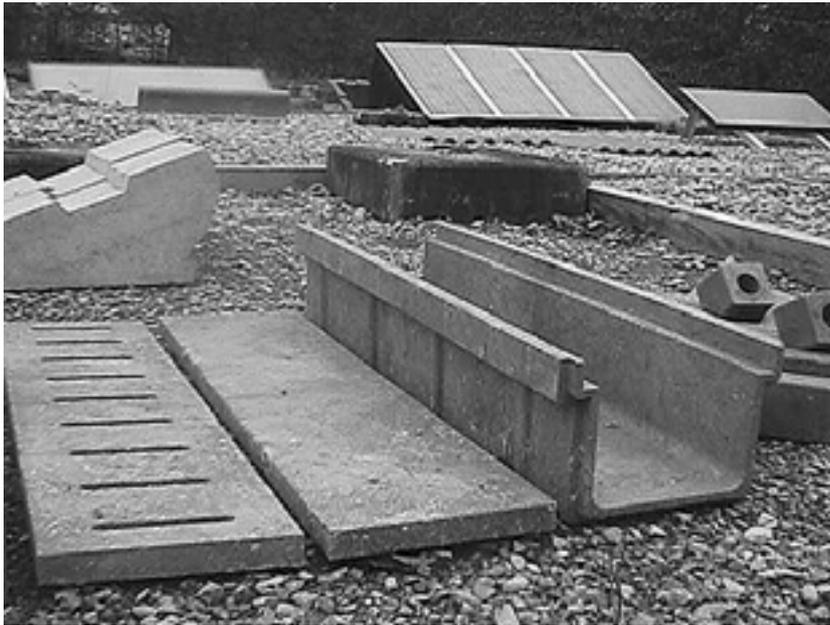


Bild 59. Bildaufnahme von einigen auf dem Markt erhältlichen Formteilen aus rezykliertem Polyäthylen.

15.4 Verbund von Zementschrittplatten als Schwerlastfundation

Üblicherweise werden bei der Belegung eines Daches gelegentlich auch Zementschrittplatten an Stelle von Kies eingesetzt. Das Gewicht pro Quadratmeter ist dabei in etwa identisch mit dem von wenigen Zentimetern Kieseinlage. Die Zementschrittplatten weisen aber dabei den Vorteil auf, dass sie begehbar sind und- dies macht sie speziell geeignet für eine SOLight-Anwendung - sie sind in sich selber stabil, also bereits eine Platte. Damit muss das Kies nicht mehr mittels einer Plattenstruktur unter das Modul geschart werden, sondern ist durch den Zementverbund bereits in einer Platte gebunden. Allerdings wirkt sich nachteilig aus, dass der Quadratmeter Zementschrittplatte fertig verlegt rund fünf mal teurer zu Buche schlägt als fertig verlegte Kieseinlage.

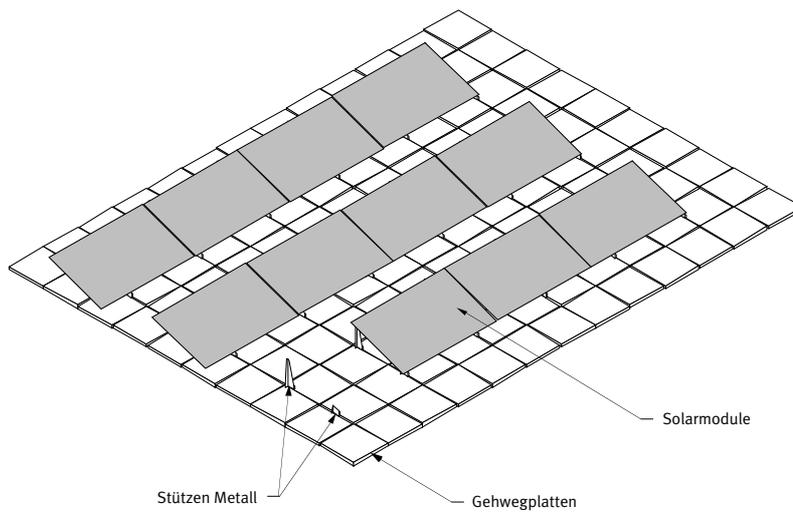


Bild 60. Schematische 3-D-Ansicht einer Aufständering der Solarmodule mit einem Verbund von Zementschrittplatten als Schwerlastfundation

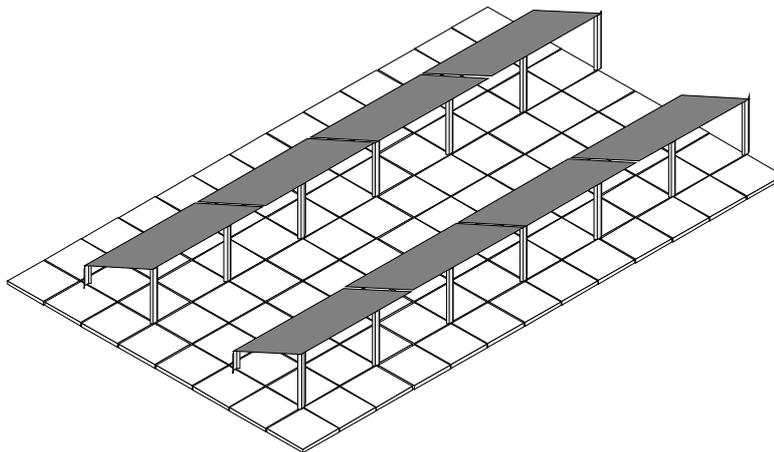


Bild 61. Dieselbe 3-D-Ansicht von hinten.

15.5 Gewellte Kunststoffplatten mit metallischer Unterkonstruktion

Aufgrund der Erfahrungen mit Solaranlagen auf Gründächern (z.B. SOLgreen) wurde beim Bau einer grossen Solaranlage auf einem Gründach erstmals gewellte, rezyklierte Polyäthylenplatten eingesetzt. Diese haben sich am Bau als beständiges und relativ günstiges Material bewährt. Durch die gewellte Form sind sie für die Anwendung auf Dachfolien bzw. Umkehrdach-Wärmedämmungen geeigneter als flache Platten (vgl. dazu auch Bemerkungen zu flachen Bodenplatten im Abschnitt "Variante feste Bodenplatten mit metallischer Aufständering").



Bild 62. Teilaufnahme einer grossen Solarstromanlage auf einem Gründach. Als Schwerlastfundation wurden unter dem Kies und unter dem Substrat für den Pflanzenwuchs gewellte, rezyklierte Polyäthylenplatten eingesetzt

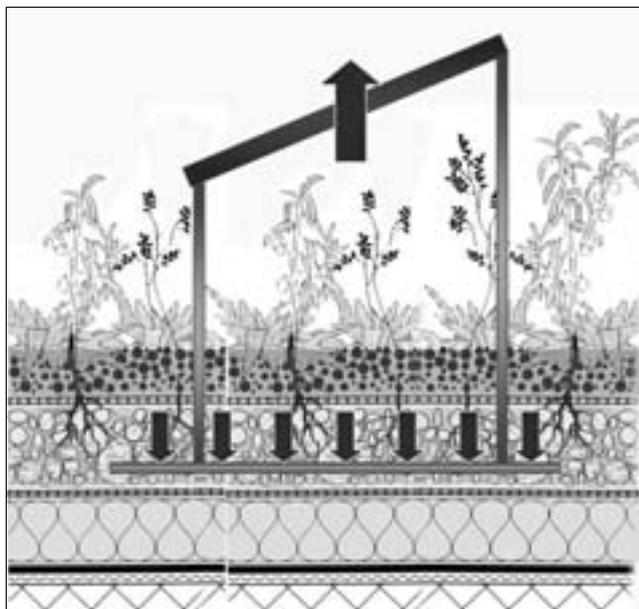


Bild 63. Schematische Darstellung des Dachaufbaues (von unten nach oben):

- Betondecke
- Wärmedämmung
- Dachhaut
- Schutzschicht
- Kies (ca. 8 cm)
- Vlies als Schutz gegen das Auswaschen des Substrates
- Substrat für den Pflanzenwuchs

im Kies eingebracht:
Kunststoffplatte

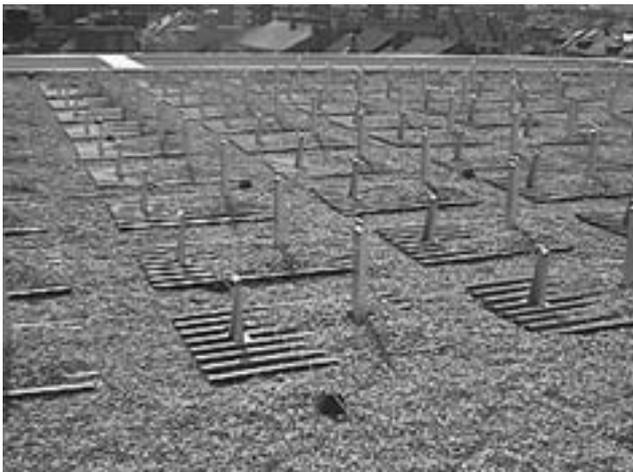


Bild 64. Aufbau in Schritten: auf das bereits zum Teil verlegte Kies werden die Platten mit den bereits montierten Stützen verlegt. Diese wurden auf der Baustelle einzeln gebohrt und verschraubt.



Bild 65. Aufbau in Schritten: die Platten sind fertig verlegt und mit zusätzlichem Kies gleichmässig beschwert



Bild 66. Aufbau in Schritten: die Module werden mit den Stützen dauerhaft verbunden

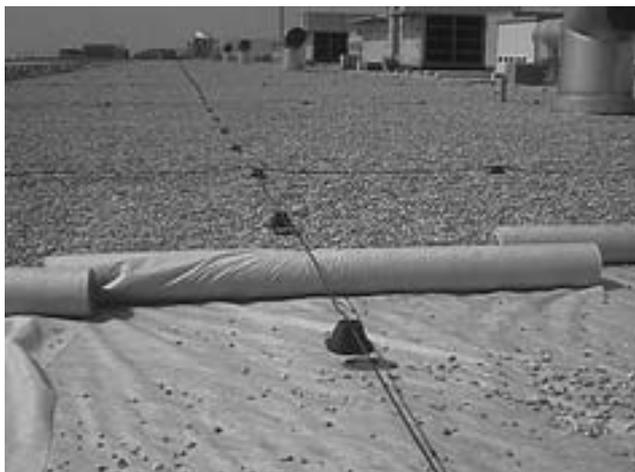


Bild 67. Aufbau in Schritten: Nach dem Einbringen des Kieses wird ein Schutzvlies verlegt, welches verhindert, dass die feinen Erdkrümelchen durch das grobmaschige Kies hindurch abgeschwemmt werden und so die Erosion begünstigen. Bereits verlegte teile (hier Blitzschutz) erschweren die Arbeit.



Bild 68. Aufbau in Schritten: Einbringen des Substrates auf die fertig verlegte Schutzvliesbahn. Das Substrat dient als Boden Verankerung und Nahrung für den Pflanzenwuchs.



Bild 69. Aufbau in Schritten: Verteilen und Ausgleichen des Substrates, welches je nach Dach zwischen ca. 3 und 12 cm dick ist.



Bild 70. Aufbau in Schritten: Teilweise fertig verlegtes Substrat und Schutzvlies.



Bild 71. Aufbau in Schritten: Verteilen und Ausgleichen des Substrates unter den Modulen, welches wegen der Stützen und Module nicht maschinell erfolgen kann, sondern durch Handarbeit erledigt werden muss.



Bild 72. Aufbau in Schritten: Fertig verlegtes und montiertes Solarmodul mit Unterkonstruktion und fertig eingebrachtem Schutzvlies und Substrat.

Basierend auf den Erfahrungen der oben beschriebenen Solaranlagen auf einem Gründach steht fest, dass die Realisierung mit Leichtgewichtsverankerung unter Einbezug des bereits auf dem Dach vorhandenen Kieses (und ggf. auch Substrat) möglich und machbar ist. Die arbeitsgerechte und speditive Verlegung und Montage der Anlage und Einbringung der Baumaterialien (Kies, Vlies, Substrat, usw.) muss in Zukunft noch optimiert werden.

Zürich, im Oktober 2002
energiebüro® zürich
Christian Meier

16 Schlussfolgerungen / Ausblick

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

Die Ziele der ersten Phase umfasste die Entwicklung einer neuen Aufständermethode – einer Leicht-Modulaufständermethode. Dabei sollten folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Klärung der Anforderungen
- Erarbeitung des Pflichtenheftes und der technischen Lösungsansätze
- Definition der Beurteilungskriterien und deren Überprüfung
- Erstellung Prototypen
- Validierung der Ansätze

Die gesteckten Ziele sind erreicht worden: mehrere erfolgsversprechende Aufständermethoden konnten entwickelt werden, welche die an sie gestellten Anforderungen mehrheitlich erfüllen. Die Umsetzung der Anforderungen in einer neuen Aufständermethode ist machbar.

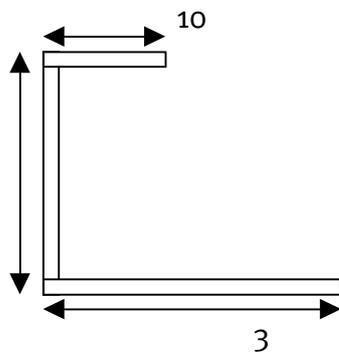
Bei der Erarbeitung der technischen Lösungsansätze und anschließender Validierung kristallisierten sich 2 Aufständermethoden heraus, welche in Phase 2 weiterverfolgt werden.

Im Rahmen von Phase 2, der vorgesehenen Pilot- und Demonstrationsanlage, ist es vorgesehen die 2 erfolgsversprechendsten Aufständermethoden in diversen Ausführungs- und Anordnungsvarianten auszutesten und auszumessen. Dieser zusätzliche Schritt erlaubt es, weitere Verfeinerungen 'in vivo' vorzunehmen. Dabei soll das Hauptaugenmerk auf folgende zwei Punkte gerichtet werden: ‚Umsetzung hin zum marktauglichen Produkt‘ und ‚kostengünstige Leicht-Modulaufständermethode‘.

17 Quellenangabe

- /1/ Ragonesi, M. : Bautechnik der Gebäudehülle , vdf/Teubner 1993
- /2/ Nowak, S./Gutschner, M.: Photovoltaik-Potential im Gebäudepark, NET 1998
- /3/ Telefonische Angaben technische Beratung Sarnafil AG Sarnen
- /4/ Kasser, U. / Pöll, M. / Graue Energie von Baustoffen / Büro für Umweltchemie 1998
- /5/ Sarnafil /Dokumentation : TG 66/TS 77 Flachdachsysteme / Sarnafil 1996
- /6/ Enecolo AG , Schlussbericht SOFREL , 1996
- /7/ Telefonische Angaben technische Beratung Pestalozzi AG, Dietikon
- /8/ Telefonische Angaben technische Beratung Alusuisse AG Niederglatt
- /9/ Telefonische Angaben technische Beratung Montana AG Villmergen
- /10/ H. Birkhofer, Methodik industrieller Planung und Entwicklung, Abt. III B, ETHZ

18 Graue Energie von Aluminiumrahmen von Solarmodulen



Blechdicke : 1.5 mm

Abmessung des Rahmens : 1420 x 650 mm

Umgerechnet auf m² 1.5 mm Aluminiumblech : 0.31 m²

Gewicht des gesamten Aluminiumrahmens : 1.252 kg

Graue Energie pro kg Primäraluminium : 210 MJ/kg

Graue Energie pro Aluminiumrahmen : 263 MJ

Zum Vergleich : Gewelltes Aluminiumblech (Montana 1mm)

Gewicht pro m² : 3.5 kg

Graue Energie pro Blech : 735 MJ

Zum Vergleich : Gewelltes Aluminiumblech (Montana 0.7 mm)

Gewicht pro m² : 3.5 kg

Graue Energie pro Blech : 514 MJ

Beim Weglassen des üblichen Aluminiumrahmens der Solarmodule lässt sich die Ökobilanz des Systems SOLight drastisch verbessern.

19 Verbindung Laminat SOLight

19.1 Klemmen der Lamine

Bei gewissen Ausführungen von SOLight wäre Klemmen sicher eine gute Lösung. Der Vorteil gegenüber Kleben ist, dass defekte Module einfacher auszuwechseln sind. Bei der SOLight Variante, bei welcher ein gewelltes Blech verwendet wird beispielsweise, würde diese Lösung ohne Probleme realisierbar sein. Die Wellblechvariante könnte ähnlich ausgeführt werden wie die PV-Anlage auf dem Hauptbahnhof Zürich (energie büro), welche auf einem Blechdach der Firma Montana realisiert wurde.

19.2 Kleben vom Laminat auf SOLight

Für das Aufkleben des Laminates auf das Solarmodul-Aufständersystem gibt es verschiedenen Möglichkeiten.

19.2.1 Doppelklebeband

Am einfachsten und am schnellsten ist es die Solarmodule mit Doppelklebeband, zum Beispiel mit 3M Acrylic-Foam Tape auf die Halteklammern zu kleben. Beim System SOFREL wurde dies schon in verschiedenen Anlagen angewendet, so zum Beispiel in Wattwil (LESO).

Probleme kann es im Winter mit Frostsprengungen geben, wenn der Abstand zwischen Solarmodul und Aufständersystem zu klein ist, so dass Wasser dazwischen eindringen kann, welches dann auch dort bleibt und im Winter gefrieren kann. /6/

19.2.2 Direktes Aufkleben

Der Klebstoff wird direkt auf das Laminat und auf die Halteklammern gegeben. Als möglicher Klebstoff könnte man Sika Bond T2 (Sika Bauchemie, CH) verwenden. Ein Problem könnte während der Montage entstehen, solange der Klebstoff noch nicht getrocknet ist. Das Problem könnte man aber mit einer kombinierten Anwendung von Klebstoff und Doppelklebeband lösen. Zu Reparaturzwecken wurde bei Anlagen der LESO auch schon Klebstoff verwendet, welcher direkt aufgetragen wurde.

19.2.3 Klettverschluss

Die eine Seite wird auf das Laminat, die andere auf die Halteklammern geklebt, danach werden die 2 Teile verbunden. Als mögliches Material könnte ein 3m Scotchmate Reclosable Fastener verwendet werden. Mit diesem System wurden an der EPFL im Zusammenhang mit SOFREL Versuche durchgeführt. Nach den Untersuchungen zu beurteilen würde diese Lösung auch funktionieren.