



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

SOLGREEN KRAFTWERK 1 ZÜRICH

Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

Jochen Rasmussen, Sandra Stettler
Enecolo AG

Lindhofstr. 52, 8617 Mönchaltorf, info@enecolo.ch, www.enecolo.ch



Impressum

Datum: 4. April 2008

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, P+D Programm Photovoltaik

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

www.bfe.admin.ch

BFE-Projektnummer: 42920 / 82869

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch

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

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
Abstract	2
Ausgangslage.....	3
Ziel der Arbeit	3
Anlagenbeschreibung.....	3
Konzept Solgreen	3
Gebäude Kraftwerk 1	4
Ergebnisse.....	5
Bau der Anlage	5
Betrieb und Wartung.....	7
Energieertrag	9
Hinterlüftung.....	12
Infrarotaufnahmen	12
Windlastmessungen	13
Kontrolle der Aufständigung	14
Flora und Fauna	17
Vergleich mit anderen Dächern	22
Schlussfolgerungen / Perspektiven	24
Publikationen	26
Referenzen	27

Zusammenfassung

Die PV-Anlage "Solgreen Kraftwerk 1" in Zürich wurde im Juni 2001 gebaut. Das Solgreen System kombiniert Photovoltaik mit begrünten Flachdächern, indem das Substrat für die Vegetation gleichzeitig als Schwerlastfundation für die Unterkonstruktion der Module genutzt wird.

Ziel des Projekts war es, die Praxistauglichkeit des Solgreen-Konzepts zu prüfen. Zusätzlich wurde der Einfluss der Dachvegetation auf die Photovoltaik während 5 Jahren durch einen externen Experten wissenschaftlich untersucht. Zu diesem Zweck wurden 12 Testflächen mit verschiedenen Substraten und unterschiedlicher Vegetation erstellt.

Es wurden 140 verschiedene Pflanzenarten sowie viele Insekten und Tiere gezählt. Die Solarmodule erhöhten die strukturelle Diversität auf dem Dach, da sie beschattete Flächen erzeugten und die Wasserverteilung beeinflussten.

Besonders auf den Flächen mit geringer Vegetation siedelten sich Baumschösslinge an. Sie mussten entfernt werden, da sie die Module beschatteten. Auf einem der Dächer führte Beschattung durch Königskerzen zu einem messbaren Rückgang des Energieertrags. Um dies zu vermeiden, sollte vor den Modulen nur wenig Substrat aufgetragen und niedrig wachsende Pflanzen angesät werden.

Die Stromproduktion war höher als bei durchschnittlichen PV-Anlagen in der Stadt Zürich. Bei den Modulen trat fast keine Verschmutzung auf. Dies ist vor allem auf die rahmenlosen Module zurückzuführen, aber auch der Luft reinigende Effekt der Pflanzen könnte dazu beigetragen haben.

Abstract

The "Solgreen Kraftwerk 1" PV plant was built in Zurich, in June 2001. The Solgreen system optimizes the integration of photovoltaic modules on green flat roofs by using the ground substrate in a double function for both; as soil substrate for the vegetation and as a foundation for the modules mounting structure.

The project's main goal was to test the suitability of the Solgreen system. Furthermore, the interacting influences of the roof vegetation and the photovoltaic system were examined scientifically over a 5 year period by an external expert. 12 sample areas were covered with different substrates and different seeds were used on the roof during the test period.

Ecosystem diversity amounted to 140 different breeds of plants as well as insects and animals. The modules led to a higher structural diversity on the roof by creating shaded areas and different water distribution.

Saplings mainly growing in low vegetation density areas, caused shading on modules and had to be removed. Mulleins were an additional shading problem on one of the rooftops; leading to a measurable energy reduction. For future installations of this type, a low substrate height in front of the modules and seeds which produce low growing plants can reduce such shading problems.

This photovoltaic system's technical performance was higher compared to the average system's performance in Zurich. Visual controls of the system showed almost no soiling of the PV modules, primarily due to the frameless modules, but maybe also due to the plants' air cleaning effect.

Ausgangslage

Photovoltaik-Anlagen und Dachbegrünungen sind auf den ersten Blick eine ideale Kombination für Flachdächer. Ansonsten ungenutzte Flächen werden durch die Dachbegrünung zu einem wertvollen Lebensraum und produzieren dank der Photovoltaik-Anlage gleichzeitig sauberen Ökostrom. Doch wie kann das in der Praxis realisiert werden? Im P+D Entwicklungsprojekt `Optimierung des Systems Solgreen`[1] wurde ein Konzept entwickelt, wie Flachdächer gleichzeitig als Gründach und zur Produktion von Solarstrom genutzt werden können. Nach dem „Solgreen“- Konzept wird das Substrat der Dachbegrünung gleichzeitig als Schwerlastfundation genutzt, um die Unterkonstruktion für die Solarmodule auf dem Dach zu halten.

In diesem Bericht werden die Erfahrungen mit der ersten „Solgreen“ Pilotanlage beschrieben. Mit der gebäudeintegrierten Gründachanlage „Solgreen Kraftwerk 1, Zürich“ wurde das im P+D Entwicklungsprojekt `Optimierung des Systems Solgreen`[1] entwickelte Konzept umgesetzt und auf seine Praxis-tauglichkeit überprüft.

Auf nationaler Ebene gab es eine starke Zusammenarbeit mit der Wohn- und Baugenossenschaft Kraftwerk1, welche die Dachflächen zur Verfügung stellte. Die Ernst Schweizer AG in Hedingen lieferte die Unterkonstruktion mit den neuen Scherengestellen und war an der Entwicklung beteiligt. Die Vegetationsuntersuchungen auf den Flächen von Kraftwerk1 wurden vom Experten für Flora und Fauna Markus Maier, Flora + Fauna Consult durchgeführt. Dr. Stephan Brenneisen und Evelyne Trachsel von der Hochschule Wädenswil führten die Vergleichsuntersuchungen bei fünf weiteren Photovoltaik-Anlagen mit Gründach in Basel durch. Die Infrarotaufnahmen zur Temperaturmessungen wurden vom TISO durchgeführt.

Ziel der Arbeit

Mit der Pilotanlage „Solgreen Kraftwerk 1, Zürich“ sollen die Qualität und Dauerhaftigkeit der Konstruktion bei gleichzeitig optimierten Montage- und Materialkosten verifiziert werden. Weiterhin werden fortlaufend ab Frühjahr 2002 erstmals die Einflüsse eines PV Gründachsystems auf die Dachvegetation wissenschaftlich über einen längeren Zeitraum untersucht.

Projektziel ist die Erprobung und Demonstration des neuen Systems Solgreen; die Optimierung von Details aufgrund von Messungen und Betriebserfahrungen; die Erfassung und Dokumentation über den Einfluss des Systems auf die Vegetation und Kleinlebewesen; das Sammeln von Erfahrungen bei Bau und Betrieb der Anlage, sowie das Analysieren von spezifischen Betriebswerten durch den Quervergleich zu anderen Anlagen in Zürich, Basel und Lausanne.

Anlagenbeschreibung

KONZEPT SOLGREEN

Beim Solgreen System dient das Kies und Substrat der Dachbegrünung als Schwerlastfundation für die Photovoltaik-Anlage (Abb. 1). Dazu werden Platten auf die Dachhaut gelegt und mit dem Kies und Substrat für die Dachbegrünung bedeckt. Die Aufständering für die Solarmodule wird auf den Platten befestigt. So bleibt die Photovoltaik-Anlage ohne weitere Beschwerung oder Verankerung auf dem Dach fixiert. Die Aufständering hat eine Höhe von mindestens 30 cm, damit unter den Modulen genügend Platz für die Vegetation bleibt.



Abb. 1: Prinzip des Solgreen Systems

GEBÄUDE KRAFTWERK 1

Auf den Gebäuden der Bau- und Wohngenossenschaft KraftWerk1 in Zürich sind im Jahr 2001 insgesamt 3 Flachdach Photovoltaik-Anlagen mit verschiedenen Leistungen und Montagesystemen installiert worden (Tabelle 1).

Die Hauptuntersuchungen, wie sie in der Einleitung angesprochen wurden, werden an den Anlagen auf dem etwas erhöhten Gebäude A und dem Gebäude B3 durchgeführt (Abb. 2, 3 und 4). Das auf Haus B2 installierte SOFREL System (Abb. 5) ermöglicht den direkten Vergleich zu einem weiteren Gründachsystem.

Tabelle 1: PV-Anlage KraftWerk1

Gebäude	Leistung	Montagesystem	Aufständerungshöhe
Haus A	9.18 kWp	Solgreen	30 cm
Haus B2	15 kWp	SOFREL	ca. 15 cm
Haus B3	15.93 kWp	Solgreen	30 cm



Abb. 2: Luftaufnahme der Gebäude von Kraftwerk1
(Quelle: www.gis.zh.ch)

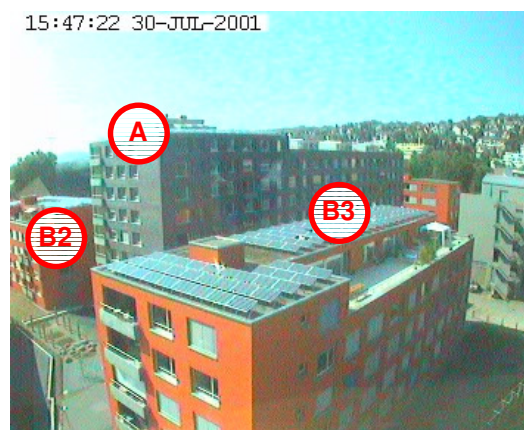


Abb. 3: Blick auf KraftWerk1 aus Südosten (Quelle: WebCam von Kraftwerk1)



Abb. 4: Solgreen Anlage auf Haus B3



Abb. 5: SOFREL Anlage auf Haus B2

Nach der Installation der Photovoltaik-Anlagen wurden im August 2001 die Dächer der Häuser A, B2 und B3 der Siedlung Kraftwerk1 mit dem Substrat "Ricoter Extensiv" - vornehmlich aus Blähton bestehend - belegt. Dem Substrat war auch Saatgut beigemischt. Aufgrund der auch im Frühjahr 2002 noch sehr spärlichen Vegetationsentwicklung wurden im Juli 2002 auf Teilen der Dachflächen von Haus A und B2 neue Versuchsflächen angelegt und mit verschiedenen Substraten und Saatgut belegt.

Ergebnisse

BAU DER ANLAGE

Während dem Bau sind nur die Aspekte zur Montage der Module in Zusammenhang mit dem Gründach von Bedeutung. Der Einkauf der Module und die gesamte Elektroinstallation werden nicht untersucht. Bei der Planung ist die Auswahl des Substrats und der übrigen Materialien wichtig. Die einzelnen Schritte des Bauprogramms müssen gut aufeinander abgestimmt sein. In diesem Kapitel wird der Bauablauf beschrieben und Erfahrungswerte zum Personal- und Materialbedarf während der Bauzeit beschrieben.

Bauablauf

Vorgefertigte Edelstahl-Platten werden im Abstand der Unterkonstruktion auf PE-Platten von Deltatec verschraubt. Die Unterkonstruktion kann dann später in diese Edelstahl-Platten eingehakt und so einfach mit den Platten verbunden werden. Die so präparierten Deltatec Platten werden direkt auf die Dachhaut gelegt (Abb. 6). Darauf wird das Kies und Substrat für die Dachbegrünung gleichmässig verteilt (Abb. 7). Anschliessend werden die neu entwickelten Metallständer vom Typ "Scherengestell" auf den Platten befestigt und mit speziellen Alu-Profilen untereinander verbunden (Abb. 8). Die rahmenlosen Solarmodule werden auf den Scherengestellen mit Metallclips befestigt (Abb.9). Am Schluss wird das Saatgut auf dem Substrat ausgebracht.



Abb. 6: Deltatec-Platten werden auf dem Dach verlegt und dienen als Anker der Konstruktion



Abb. 7: Die gelegten Deltatec-Platten werden anschliessend mit Bodensubstrat beschwert.



Abb. 8: Die Unterkonstruktion wird auf den

Deltatec-Platten verankert.



Abb. 9: fertiggestellte Anlage

Der oben beschriebene Bauablauf hat sich bewährt. Die Deltatec Platten sind flach und stabil. Sie waren beim Auftragen des Kiesbetts gut begehbar und stellten keine Stolpergefahr für die Monteure dar. Auch sonst gab es keine negativen Erfahrungen. Der Bauablauf muss gut koordiniert werden, da die Reihenfolge und der Zeitplan der einzelnen Arbeitsschritte für das Gelingen der Installation wichtig sind. Einige Punkte müssen für eine reibungslose und effiziente Installation zudem beachtet werden:

Da die Deltatec Platten nicht mit der Dachhaut verankert sind, muss das Fixieren der Platten durch das Kiesgewicht noch am selben Tag erfolgen, damit sie nicht vom Wind herunter geweht werden.

Zur Montage der Scherengestelle mussten die Edelstahlplatten freigelegt werden. Mit Hilfe eines Meters und eines Lageplans wurden die Platten lokalisiert. Das Kies und Substrat konnte mit einer Maurerkelle entfernt werden. Hierbei musste darauf geachtet werden, Kies und Substrat zu trennen, da nach dem Einhängen der Scherengestelle die Löcher wieder erst mit Kies und dann mit Substrat gefüllt werden. Um die Gestelle problemlos einhängen zu können, wurden die Edelstahlplatten sehr sorgfältig vom Kies befreit, was bei trockenen Bedingungen unkritisch ist.



Abb. 10: Freilegen der Edelstahlplatten

Insgesamt wurden 342 Deltatec Platten ausgelegt, 340 Scherengestelle der Firma Schweizer Metallbau AG montiert und 186 140-W-Module von BP installiert. Das Präparieren und Verlegen der Deltatec Platten sowie das Installieren der Unterkonstruktion und das Montieren der Module benötigte ca. 152 Mannstunden. Bei einem angenommenen Lohn von CHF 75.- führt das zu ca. 0,44 CHF/W installierter Leistung. Die Materialkosten für die Deltatec Platten und die Unterkonstruktion belaufen sich auf ca. 0,91 CHF/W, somit liegen die Gesamtaufwendungen für die Montage bei ca. 1,35 CHF/W. Die Materialkosten für Kies und Substrat, das Ausbringen von Kies und Substrat und das Ansäen sind dabei nicht berücksichtigt, weil das Gründach auch ohne Photovoltaik-Anlage erstellt worden wäre.

BETRIEB UND WARTUNG

Der Betrieb der Anlage wurde während 5 Jahren bezüglich Energieertrag und Wartungsaufwand dokumentiert und mit anderen Photovoltaik-Anlagen in der Stadt Zürich verglichen. Ein intensiver Vergleich erfolgt mit der Photovoltaik-Anlage auf dem Haus B2, die eine Sofrel Unterkonstruktion aufweist.

Wartungsaufwand

Der Wartungsaufwand beschränkte sich auf das Ausreissen und Entfernen von Pflanzen, welche die Höhe der Solarmodule erreichten und deshalb zu einer Beschattung führten. Weitere Wartungsarbeiten waren nicht nötig. Die rahmenlosen Solarmodule wurden durch den Regen genügend gesäubert, so dass keine manuelle Reinigung nötig wurde. Es traten keine technischen Defekte an der Anlage auf.

Der Arbeitsaufwand zum Entfernen der Pflanzen war auf den beiden Dächern und auf den verschiedenen Versuchsflächen sehr unterschiedlich, da auch der Pflanzenbewuchs grosse Unterschiede aufwies.

Auf dem Haus B3 wurden bereits im ersten Jahr verschiedene Kräuter und Pappeln entfernt, die bis auf die Höhe der Module gewachsen waren. Im 2004 und 2005 wurde auf dem Haus B3 erneut eine Rodungsaktion vorgenommen. Dabei mussten neben Pappeln auch Weiden und Königskerzen entfernt werden. Im 2006 wurden hauptsächlich Königskerzen gerodet (Abb. 11).



Abb. 11: Königskerzen beschatten die Module

Die Gehölze waren nicht im ausgebrachten Saatgut vorhanden und müssen deshalb über Pollenflug auf die Dächer getragen worden sein. Die Pappelsamen könnten von der Allee an der Förlibuckstrasse im Südosten von Haus B3 stammen. Sie wurden auch hauptsächlich auf der Südseite des Dachs gefunden (Abb.12). Die Weidensamen könnten evtl. von der Limmat im Norden von Kraftwerk1 hergetragen worden sein. Die Königskerzen waren entweder bereits als Verunreinigung im Substrat vorhanden oder wurden ebenfalls durch Pollenflug auf das Dach getragen. Erstaunlicherweise breiteten sich die Gehölze und Königskerzen hauptsächlich auf den sehr extensiven, nicht neu begrünten Flächen aus. Wahrscheinlich führte die dichte Vegetationsdecke auf den Versuchsflächen dazu, dass die Pollen nicht in die Erde gelangen und somit auch nicht keimen konnten.

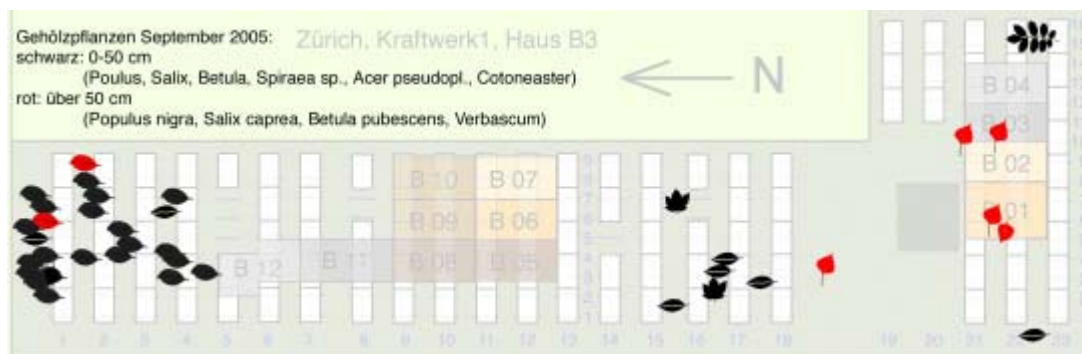


Abb. 12: Standorte ausgerissener Gehölzpflanzen auf dem Haus B3, 2005

Auf Haus A mussten ähnlich wie auf Haus B3 auch Weiden, Pappeln und Königskerzen gerodet werden. Zusätzlich gab es einige Sämlinge von Feld- und Bergahorn, die aber nicht ausgerissen wurden, da sie schon Trockenschäden aufwiesen. Insgesamt war der Bewuchs mit Gehölzen auf Dach A aber viel geringer als auf dem Dach B3. Dies könnte einerseits daran liegen, dass Haus A höher ist als Haus B3 und deshalb dem Pollenflug weniger ausgesetzt ist. Ausserdem ist Haus A weiter von der Pappel-Allee an der Förrlibuckstrasse entfernt als Haus B3. Das erklärt wahrscheinlich das deutlich geringere Aufkommen von Pappelsämlingen auf Haus A. Auch Königskerzen wurden auf Haus A nur sehr wenige gefunden.

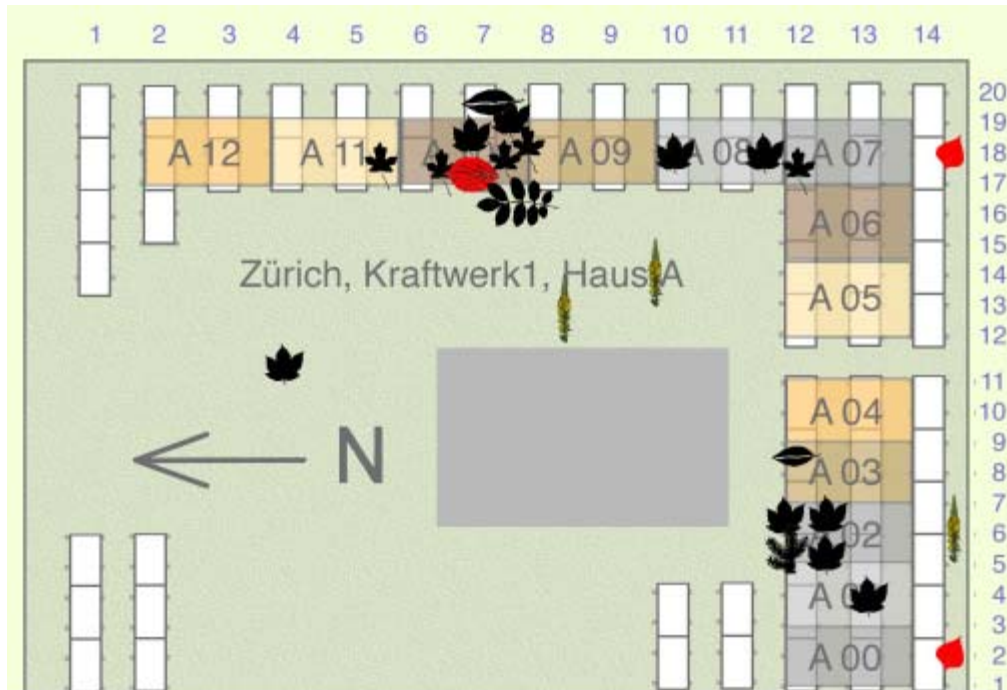


Abb. 13: Standorte ausgerissener Gehölzpflanzen auf dem Haus A, 2005

Neben den Gehölzen und Königskerzen, die nicht in der Samenmischung enthalten waren, wuchsen auch auf den verschiedenen Versuchsflächen teilweise Pflanzen, welche die Modulhöhe erreichten. Das war besonders auf den Versuchsflächen mit der Samenmischung UFA 49 der Fall. Im Sommer 2005 waren diese Flächen zu 20 bis 50% mit hohen Pflanzen bedeckt. Auf drei weiteren Versuchsflächen überstieg der Deckungsgrad mit hohen Pflanzen 10%. Ausser auf den extensivsten Flächen (RICOTER 6cm mit UFA 17) überschritten überall Einzelpflanzen die Höhe der Unterkante der Solarmodule. Die Deckung problematischer Pflanzen erreichte jedoch selten mehr als 1%. Da sich die Vegetationszusammensetzung in den 5 Jahren stark veränderte, schwankte auch der Wartungsaufwand von Jahr zu Jahr. Mit den Jahren nahmen tendenziell die Pflanzenhöhe und -Dichte und damit der Rodungsaufwand zu.



Abb. 14: Achillea vor den Modulen



Abb. 15: diverse Pflanzen überschritten die untere Modulkantenhöhe

Auf Haus B2 (Sofrel-Anlage) waren im Vergleich zu den Häusern mit Solgreen-System keine Rodungen nötig. Es siedelten sich keine Gehölze oder Königskerzen an und es wuchsen auch sonst keine hohen Pflanzen. Das liegt wahrscheinlich am extensiven Substrat mit einem Saatgut, das vor allem Moose enthielt. Schon im ersten Jahr bedeckten die Moose das Substrat fast vollflächig und verhinderten so wahrscheinlich, dass angeflogene Pollen bis auf das Substrat gelangen und keimen konnten. Da das Saatgut selbst keine hohen Pflanzen enthielt, blieb die Vegetation durchgehend sehr niedrig. Bei den Solgreen-Anlagen dagegen war der Pflanzendeckungsgrad mit Ausnahme der Versuchsflächen auch im 5. Jahr noch sehr gering und ermöglichte so das Keimen von angeflogenen Pollen.

ENERGIEERTRAG

Der Energieertrag der Solgreen Anlagen auf Haus A und B3 wird seit Inbetriebnahme überwacht und mit der Sofrel Anlage auf Dach B2 verglichen. In den 5 Jahren der Überwachung traten keine technischen Defekte auf. Unterschiede im Energieertrag der drei Anlagen könnten durch unterschiedliche Eigenschaften der Solarmodule oder Wechselrichter entstehen, durch die andersartige Vegetation oder die zwei unterschiedlichen Aufständersysteme oder durch Beschattung durch Dachaufbauten.

Die höhere Aufständerung der Solgreen-Anlagen könnte zu einer besseren Hinterlüftung und damit zu einer Abkühlung der Module führen. Dies würde den Energieertrag der Sofrel-Anlagen um schätzungsweise 2% erhöhen. Andere Einflüsse wie die Abweichung der Modul-Nennleistung von den Herstellerangaben, Mismatching, MPP-Anpassungsfehler der Wechselrichter etc. beeinflussen den Ertrag einer Anlage typischerweise stärker. Zudem ist die Sofrel-Anlage auf Haus B2 durch das Haus A beschattet und sollte deshalb tendenziell einen tieferen Ertrag aufweisen. Durch Dachaufbauten sind aber auch die Anlagen auf Dach A und B3 teilweise beschattet. Durch die Überlagerung all dieser Einflüsse kann die Ursache für Ertragsunterschiede nicht genau geklärt werden. Tatsächlich lag der Ertrag der Sofrel-Anlage im 2002 zwischen dem Ertrag der beiden Solgreen-Anlagen (Abb. 16). Alle drei Anlagen weisen einen sehr ähnlichen Energieertrag auf (Abb. 17).

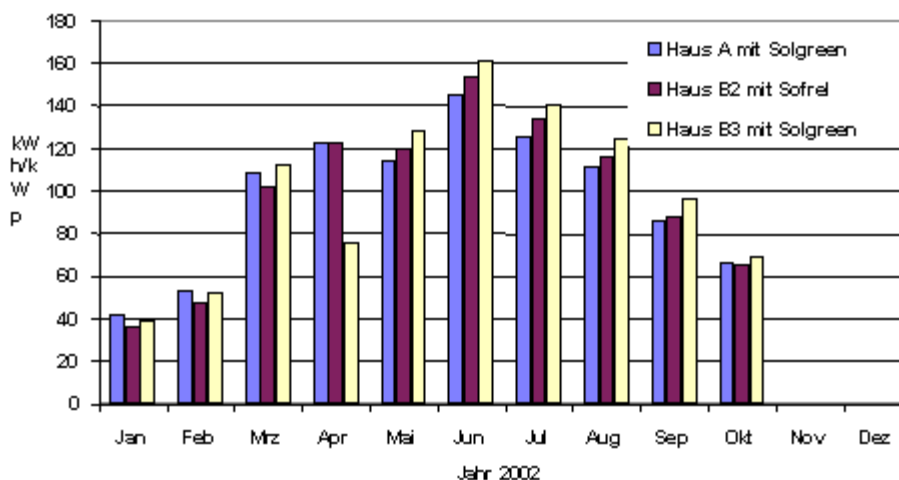


Abb. 16: Vergleich spezifischer Energieertrag 2002

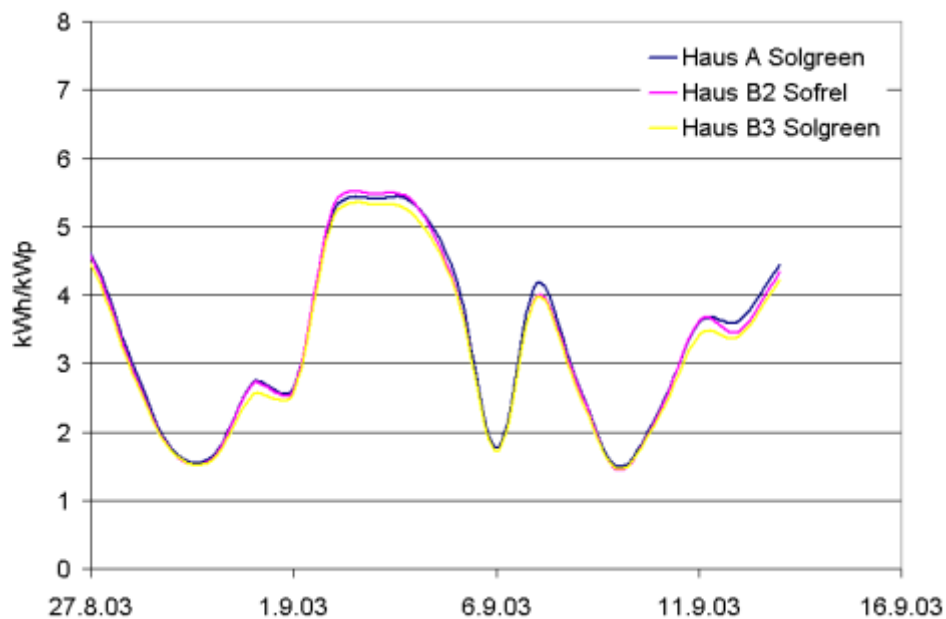


Abb. 17: Produktionskurven der Anlagen im Vergleich

Auch in den folgenden Jahren waren die Jahreserträge der drei Anlagen ähnlich. Es konnten aber jahreszeitliche Unterschiede festgestellt werden (Abb. 18 und 19). Im Frühling liefern die beiden Solgreen Anlagenteile etwa gleich viel Ertrag. Der Anlagenteil mit Sofrel produzierte insgesamt am wenigsten. Im Herbst liegt der Ertrag vom Haus B3 deutlich unter demjenigen von Haus A, obwohl beide Teile im Frühling gleich viel produzierten. Dieser Befund muss auf die Beschattung durch die Königskerzen zurückzuführen sein. Dies wird verdeutlicht durch den Zeitpunkt der Rodung (2. September 2005). Nach der Rodung liefern die Anlagen A und B3 wieder gleich viel (Abb. 20). Der Ertragsvergleich 2003 zeigte deutlich geringere Abweichungen, da die Vegetation im Sommer nicht so ausgeprägt war.

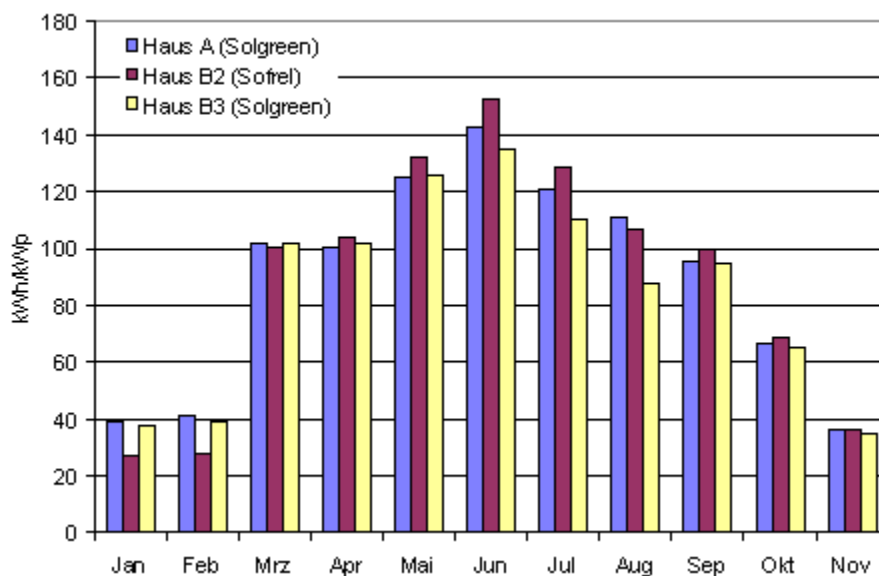


Abb. 18: spezifischer Energieertrag im Vergleich, 2005

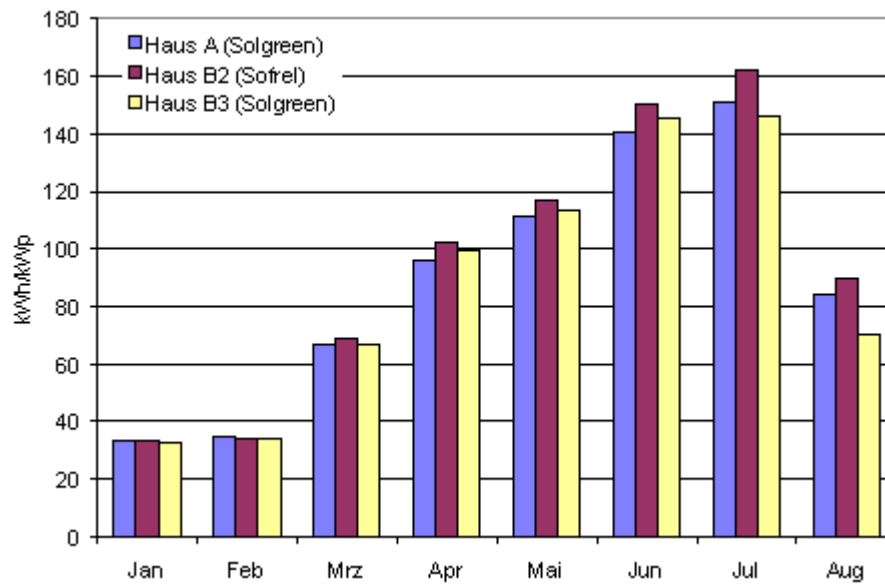


Abb. 19: spezifischer Energieertrag im Vergleich, Januar bis August 2006

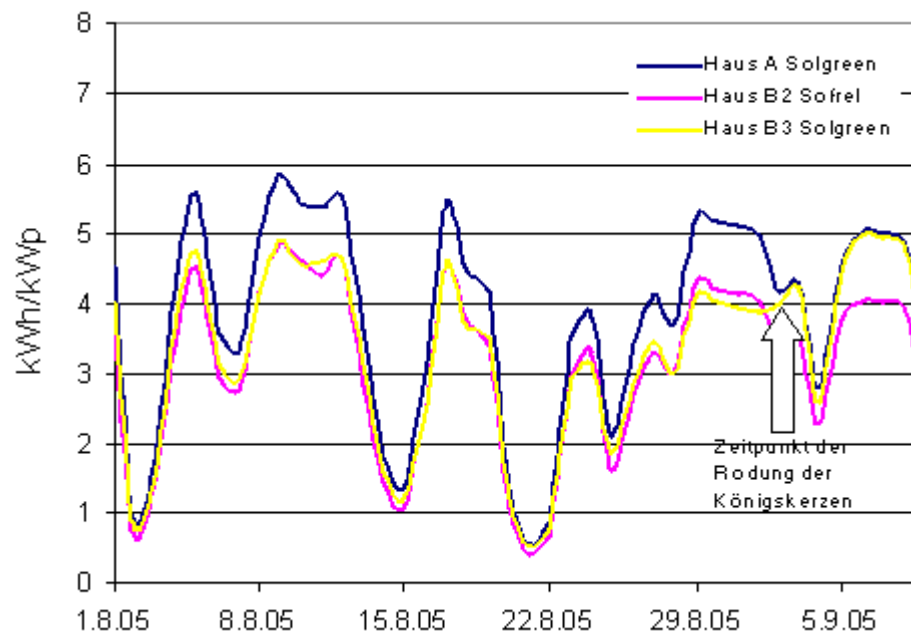


Abb. 20: spezifischer Energieertrag vor und nach der Rodung, 8./9.2005

HINTERLÜFTUNG

Mit dem Ziel, das Montagesystem Solgreen in Details zu verbessern, wurde die Unterkonstruktion bezüglich ihrer Hinterlüftung mechanisch optimiert. Dazu wurde in einer Modulreihe das übliche horizontale Modul-Befestigungsprofil (siehe Abb. 21) durch ein vertikales Profil ersetzt (siehe Abb.22).



Abb. 21: Standard Unterkonstruktion mit horizontalem Modul-Befestigungsprofil



Abb. 22: Modifizierte Unterkonstruktion mit vertikalen Befestigungsprofilen zwecks besserer Hinterlüftung

Dadurch gibt es bei der modifizierten Variante kein Profil mehr, das die aufsteigende Hinterlüftung direkt am Modul behindern könnte.

INFRAROTAUFNAHMEN

Der tatsächliche Einfluss der Abwandlung auf die Hinterlüftung und die Modultemperatur wurde durch Infrarotaufnahmen vom TISO sichtbar gemacht (Abb. 23 und 24).

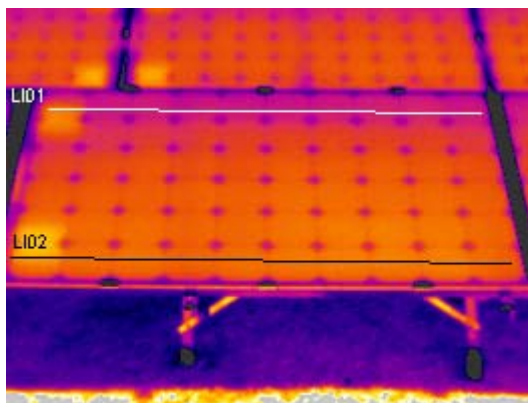


Abb. 23: Standard Unterkonstruktion, mittleres Modul

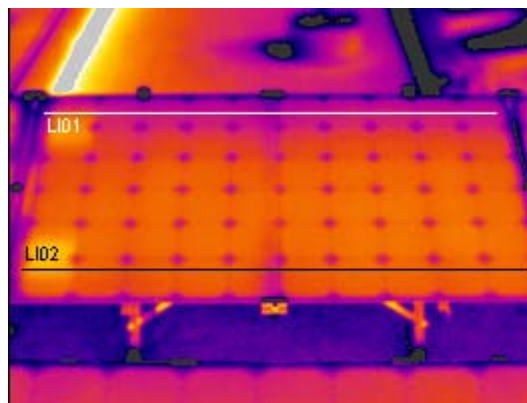


Abb. 24: Modifizierte Unterkonstruktion, mittleres Modul

Grundsätzlich sind keine grösseren Temperaturunterschiede zu erkennen, welche die eine oder andere Variante als geeigneter bezeichnen lässt. Es ist sichtbar, dass an der modifizierten Variante das Laminat an der Auflagefläche des mittleren Vertikalprofils gekühlt wird (in Abb. 24 mit Pkt. 1 bezeichnet), doch dies hat keinen relevanten Einfluss auf den Energieertrag. Auf weitere Messungen wurde verzichtet, da das Ergebnis eindeutig ist und keine weiteren Erfahrungen zu erwarten sind.

WINDLASTMESSUNGEN

Um Aufschluss über die durch Windlast erzeugten Kräfte zu erhalten, die vom Modul auf das Stützensystem übertragen werden, wurde ein entsprechender Messaufbau konstruiert. Dieser Messaufbau basiert auf der Kraftmessung in den Streben der Unterkonstruktion mittels Dehnungsmessstreifen (DMS). Da einzelne DMS nur Zug- und Druckkraft aufnehmen können und Biegemomente ausgeschlossen werden müssen, war es erforderlich die Unterkonstruktion abzuwandeln, ohne dabei die äussere Form des Systems zu verändern.

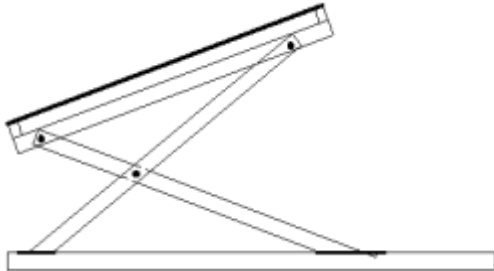


Abb. 23: Standard Unterkonstruktion, mittleres Modul

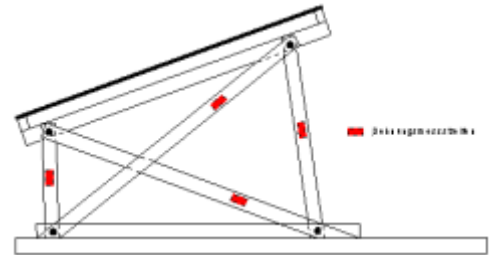


Abb. 24: Modifizierte Unterkonstruktion, mittleres Modul

Die aus den Dehnungsmessstreifen gewonnenen dynamischen Messwerte werden in einem Datenlogger erfasst und gespeichert. Als Referenz werden zusätzlich Windgeschwindigkeit und Windrichtung aufgezeichnet.

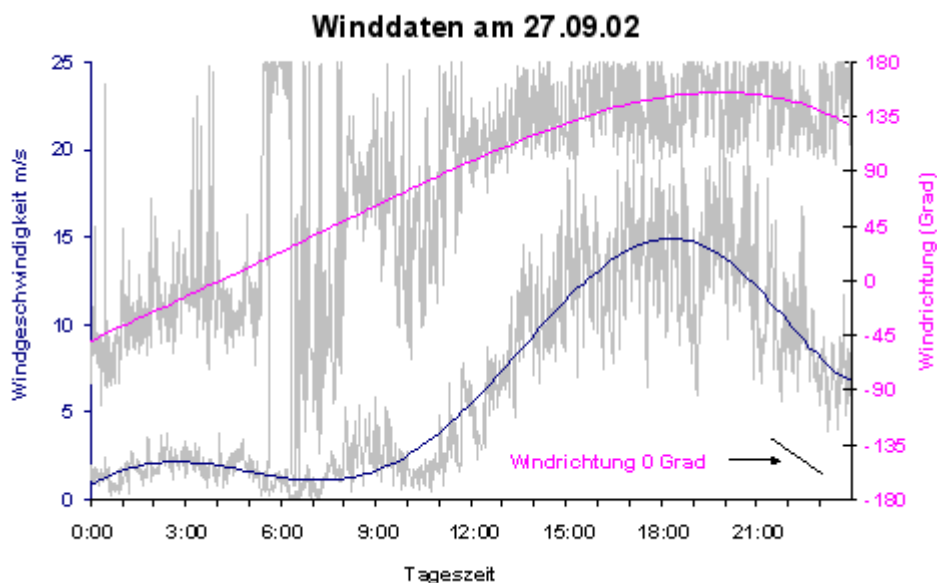


Abb.27: Windgeschwindigkeit und Richtung

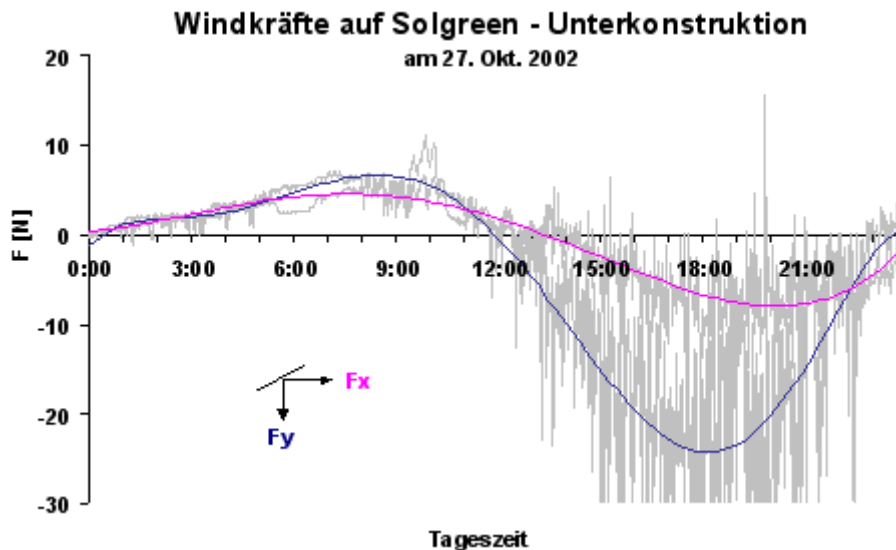


Abb. 28: Durch Windlast verursachte Kräfte

Der in Abb. 27 dargestellte Wind bewirkt die in Abb. 28 gezeigten Kräfte in X- und Y-Richtung auf das Scherengestell. Eine gemittelte Windgeschwindigkeit von bis zu 15 m/s verursacht also auf die Modulfläche eine Schubkraft von ca. 8 Newton, bzw. eine Hubkraft von 24 Newton.

Die Unterkonstruktion von Solaranlagen muss der Windhubkraft auch bei starken Winden standhalten. Dies ist ein kritischer Punkt bei Solaranlagen, da der Materialaufwand und somit auch die Kosten für die Unterkonstruktion zunehmen, je höhere Windlasten sie aushalten soll. Zusätzlich entsteht so manchmal ein statisches Problem, wenn das Gewicht der Solaranlage die zulässige Dachlast erreicht. Es wäre spannend, die Windlast auch bei grösseren Windgeschwindigkeiten zu messen und zu kontrollieren, ob die Unterkonstruktion die theoretisch berechnete maximale Windhubkraft tatsächlich aufnehmen kann. Solche extremen Windverhältnisse sind während der Messperiode aber nicht aufgetreten. Dagegen konnte mit Hilfe der gemessenen Werte und dem Gewicht der Unterkonstruktion und der Module (ca. 24 kg/m²) der Druckbeiwert C_w berechnet werden. Der Druckbeiwert wird bei der Planung von PV Anlagen zur Windsogberechnung benötigt und beträgt nach SIA 261 (2003) $C_w = 0.85$. Aus unseren gemessenen Daten konnte ein C_w -Wert von 0.83 berechnet werden, was mit dem Wert nach SIA gut übereinstimmt.

KONTROLLE DER AUFSTÄNDERUNG

Mit regelmässigen Kontrollen der Aufständering sollten Betriebserfahrungen mit dem neuen Scherengestell von Schweizer gesammelt werden. Von besonderem Interesse ist dabei einerseits die rahmenlose Modulhalterung. Sie soll die leichte Reinigung der Module durch Regen erlauben und so verhindern, dass sich Schmutz an den Modulunterkanten ansammelt. Dabei soll auch untersucht werden, ob das ablaufende Regenwasser den Humus am Boden unter den Modulen abschwemmt. Weiter soll beobachtet werden, ob an den Metallteilen beim Übergang in den Boden oder bei den Befestigungspunkten im Boden Korrosion auftritt.

Rahmenlose Module

Die visuelle Kontrolle der Module lieferte ein erstaunliches Ergebnis: Auch nach 5 Jahren konnte noch kaum eine Verschmutzung auf der Glasoberfläche festgestellt werden. Lediglich im Bereich der Befestigungsklammern waren kleinere Ablagerungen von Schmutz sichtbar. Ein Grund ist sicher, dass der Regen über die rahmenlosen Module ungehindert ablaufen kann und die Module so regelmässig gewaschen werden. Durch die hohe Aufständering (35 cm) wird zudem weniger Staub vom Boden zu den Modulen hochgeblasen als bei einer tiefen Aufständering.



Abb. 29: saubere Moduloberfläche



Abb. 30: leichte Schmutzablagerung an der Befestigungsklammer Unterkonstruktion mit Dehnungsmessstreifen

Ein weiterer Effekt könnte die Luftreinigung durch Pflanzen sein. Sie lässt sich nur schwer beziffern und ist in Fachkreisen umstritten. In der Literatur findet man jedoch Werte von ca. 0,5 kg Staub- und Schmutzpartikel je m² Dachfläche pro Jahr.

Man sollte die Wirkung der Pflanzen auf die Luftreinigung nicht überbewerten. Fakt ist aber, dass Staub- und Schmutzpartikel an den Pflanzen haften bleiben und vom Regen in den Boden gespült werden. Dieser Effekt ist eine plausible Erklärung für die sehr geringe Verschmutzung der Moduloberflächen.

Übergang zum Boden

Wichtige Beobachtungspunkte sind die Metallteile der Scherengestell beim Übergang in den Boden und die Befestigungspunkte innerhalb des Bodensubstrates bezüglich Korrosion.

Häufigste Korrosionsart von Metallen im Boden ist die Lochfraßkorrosion. Die Korrosionsgeschwindigkeit von Metallen im Boden hängt stark von der Bodenart ab.

Als Hauptfaktoren der Bodenkorrosion sind zu nennen

- 1 der pH-Wert
- 2 die Leitfähigkeit bzw. der spezifische Bodenwiderstand
- 3 Belüftungselemente
- 4 Streuströme
- 5 Bakterienanteile

Die schützende Oxidschicht von Metallen wird in Abhängigkeit vom pH-Wert mehr oder weniger stark angegriffen oder sogar aufgelöst. Aus Abb. 31 ist zu erkennen, dass der nicht aggressive Bereich von Aluminium etwa zwischen pH 3 und 8, also im sauren bis leicht alkalischen Bereich liegt, der für Zink zwischen 7 und 12,5, also im neutralen bis mittleren alkalischen Bereich. Stahl zeigt ab pH 12 einen stark verringerten Angriff. Daraus lässt sich ableiten, dass je nach pH-Wert des Bodens aus korrosionstechnischer Sicht entsprechend dem einen oder dem anderen Metall der Vorzug zu geben ist. Oder dass das Bodensubstrat so ausgewählt werden sollte, dass es zum Metall der Unterkonstruktion passt.

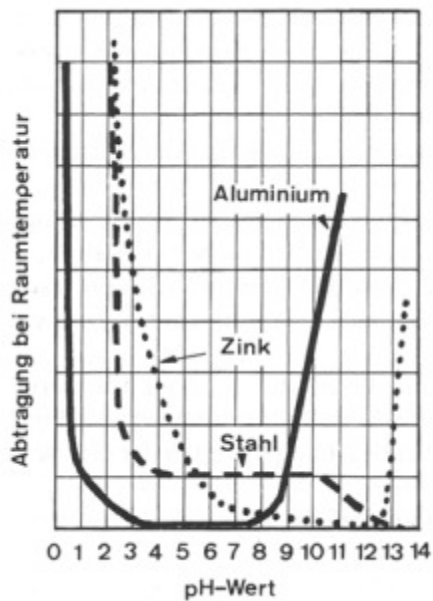


Abb. 31: Aggressivität verschiedener Metalle in Abhängigkeit des pH

Die Unterkonstruktion bei den Solgreen Anlagen besteht aus verzinktem Stahl und Aluminium. Der optimale pH-Wert des Substrats liegt deshalb zwischen 7 und 8.

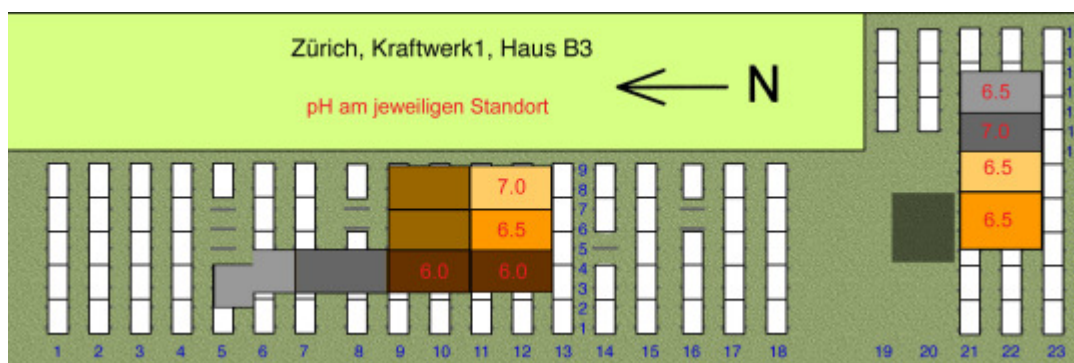


Abb. 32: pH-Werte an verschiedenen Standorten

Um konkrete Aussagen über die Korrosionsbeständigkeit der verwendeten Materialien auf der Anlage Kraftwerk1 machen zu können, wurden an den Substraten pH-Messungen gemacht (Abb. 32). Zwischen den unterschiedlichen Substrattypen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede und auch keine Veränderungen während der Projektzeit. Ebenfalls ist kein Trend des pH-Werts mit zunehmender Tiefe sichtbar. Weil der pH bei allen Standorten zwischen 6.5 und 7.5 liegt, sind die Korrosionsraten von Aluminium und verzinktem Stahl minimal. Aufgrund des pH-Werts ist deshalb keine oder nur eine geringe Korrosion zu erwarten.

Beim Freilegen einiger der sich im Substrat befindlichen Metallteile am 28. Nov. 2001, konnte noch keine Korrosion festgestellt werden.

Da wie oben beschrieben nicht nur der pH-Wert Einfluss auf die Bodenkorrosion hat, wurde die Unterkonstruktion zusätzlich visuell kontrolliert. Beim Freilegen einiger der sich im Substrat befindlichen Metallteile am 28. Nov. 2001 konnte noch keine Korrosion festgestellt werden. Anders bei der zweiten Kontrolle am 28. Aug. 2002. Die verzinkte Unterkonstruktion zeigte in den vom Substrat bedeckten Bereichen eine Verfärbung (Abb. 33, 34, 35). Je nach Substrat-Typ zeigt sich die Zinkoberfläche der Unterkonstruktion mehr oder weniger angegriffen. Unterschiedliche Inhaltsstoffe, pH-Werte, die Speicherfähigkeit von Wasser etc. des Substrats nehmen offenbar Einfluss auf das Korrosionsverhalten.



Abb. 33: Unterkonstruktion mit RICOTER Extensiv



Abb. 34: Unterkonstruktion mit RICOTER intensiv



Abb. 35: Unterkonstruktion mit FORSTER HF Typ E

In den folgenden Jahren gab es keine weiteren nennenswerten Veränderungen. Nach einer Betriebszeit von fünf Jahren wurde die Unterkonstruktion erneut auf ihren Zustand kontrolliert. Dabei konnten keine Mängel wie Korrosion, lose Verbindungen oder Verformungen infolge von Wind- oder Schneelasteinwirkungen festgestellt werden. Unter den Modulkanten konnte keine Abschwemmung des Humus durch Regenwasseraufprall festgestellt werden.

FLORA UND FAUNA

Von besonderem Interesse ist die Entwicklung der Vegetation. Die Pflanzendecke von extensiv begrüntem Flachdächern unterliegt zahlreichen Einflussfaktoren, die in Verbindung mit Solaranlagen erst wenig untersucht wurden. Neben den absoluten Zahlen zur Artendiversität interessieren dabei vor allem die Veränderungen. Die Vegetationsstruktur wird einerseits in grober Auflösung auf der Gesamtfläche erfasst, andererseits auf ausgewählten Dauerflächen im Bereich der Solarstromanlage, um auch kleinräumige Veränderungen beobachten zu können. Detaillierte Angaben zu den Resultaten dieser Untersuchungen finden sich im Schlussbericht „Solgreen Kraftwerk1 Zürich – Vegetation und Boden“ [8].

Versuchsaufbau

Die Vegetationsentwicklung blieb im Jahr 2001 sehr gering, offenbar vermochten nur wenige Pflanzen zu keimen und/oder zu überleben.

Aufgrund der auch im Frühjahr 2002 noch sehr spärlichen Vegetationsentwicklung wurden im Juli 2002 auf Teilen der Dachflächen neue Versuchsflächen angelegt und mit verschiedenen Substraten und Saatgut belegt.

Auf beiden Dächern wurden 12 Versuchsflächen von ca. 1.6m x 3.5m (5.6 qm) angelegt. Eine Fläche umfasst dabei immer zwei Reihen Solarmodule sowie die zwei Lücken dazwischen. Die Flächen wurden mit 3 verschiedenen Substraten in je 2 Mächtigkeiten belegt und es wurden 2 verschiedene Saadmischungen ausgebracht (Abb. 36 und 37).

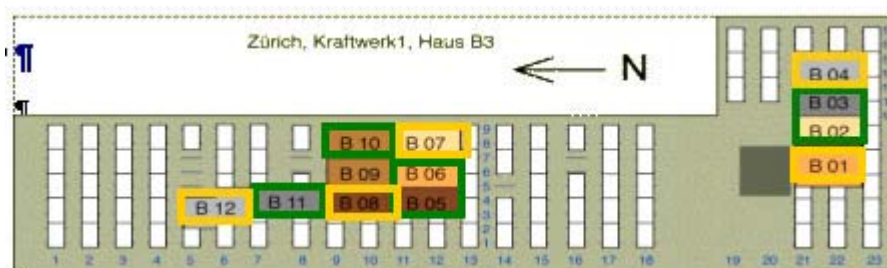


Abb. 36: Anordnung der Versuchsflächen auf Haus B3

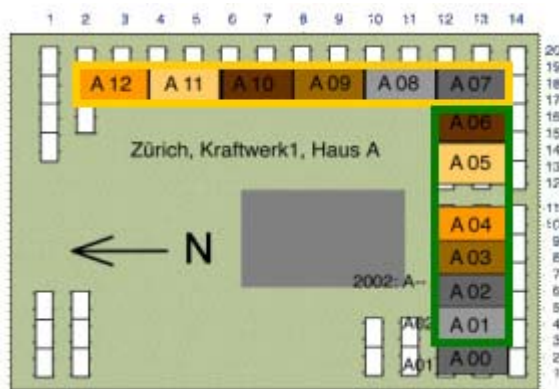


Abb. 37: Anordnung der Versuchsflächen auf Haus A

Legende zu Abb. 36 und 37:

Substrate:

- braun: RICOTER Intensiv
- orange: FORSTER HF Typ E
- grau: RICOTER Extensiv

Mächtigkeiten:

- heller Farbton: 6 cm
- dunkler Farbton: 8 cm

Saatgut:

- grüner Rahmen: UFA 49
- gelber Rahmen: UFA 17

Vegetationsentwicklung

Jedes Jahr wurden detaillierte Erhebungen zur Vegetationsstruktur gemacht. Dabei wurden Zusammensetzung, Höhe und Schichtung der Vegetation sowie hochwüchsige Problempflanzen vermerkt.

Sowohl die Artenzahl (Abb. 38) wie auch die Dichte der Vegetation (Abb. 41) nahm während dem Beobachtungszeitraum zu.

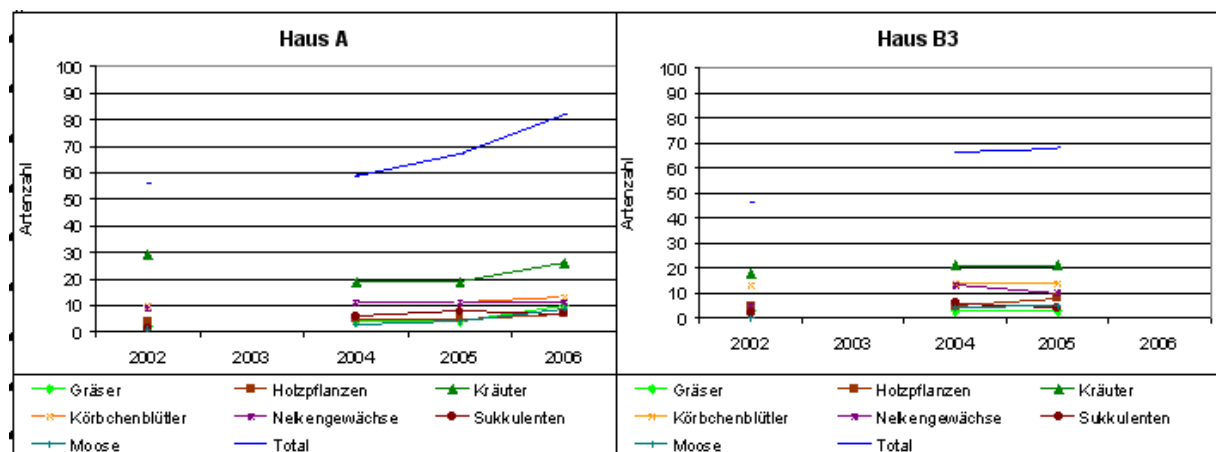


Abb. 38: Entwicklung der Artenzahl auf den beiden Dächern

Nach einem Jahr war die Vegetation noch sehr unausgeglich. Mehrjährige Kräuter (wie Königs-kerzen) und Schattenkeimer waren noch nicht zur Blüte gelangt und die Spontanvegetation aus Pionier- und Ruderalpflanzen spielte auf vielen Flächen noch die dominierende Rolle. Unter den Panels ist die Vegetation deutlich schwächer ausgeprägt als in den dazwischenliegenden Abschnitten. Dies liegt wahrscheinlich an den trockenen schattigen Bedingungen unter den Panels. Auch zwischen den Substrattypen gab es deutliche Unterschiede, die auf unterschiedliche Keimungsbedingungen zurückzuführen sein könnten

Im zweiten Jahr nahm die Deckung im Vergleich zum Vorjahr massiv um durchschnittlich 20% zu (von 30% auf 50%). Die Zunahme war besonders auf den Flächen mit RICOTER Intensiv beträchtlich. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Flächen nahmen in der Folge ab, ebenso zwischen sonnigen und schattigen Flächen.

Im dritten Jahr begann die Vegetationsdecke sich zu schliessen. Die Flächen mit RICOTER extensiv, die beschatteten Teilflächen unter den Panels sowie die Flächen mit nur 6 cm Substratauflage blieben dabei in der Entwicklung zurück. Gut entwickelt haben sich auf beiden Dächern die Sukkulente mit einer Deckung von ca. 10% (ausser auf den FORSTER Flächen). Die Moose haben sich interessanterweise auf Haus B3 viel weniger gut entwickelt, währenddem sie auf Haus A eine grosse Rolle spielen. Einen hohen Anteil an der Vegetation spielen neu auch die Korbblütler und Nelken-gewächse(Caryophyllaceae). Sie erreichen Deckungen von 5 bzw. 15 %.

Insgesamt wurden in der Versuchsperiode 140 Pflanzenarten nachgewiesen, 123 allein auf Dach A. Die Artenzahlen sind vergleichbar mit denen ähnlich begrünter Dächer, für Dachbegrünungen im All-gemeinen aber überdurchschnittlich hoch. Im Vergleich zu Wiesen und Weiden liegt die Artenzahl der Solgreen-Dächer mindestens im Bereich des gesamtschweizerischen Durchschnitts, aber tiefer als diejenige besonders artenreicher Trockenwiesen.



Abb. 39: hohe Deckung durch Moose

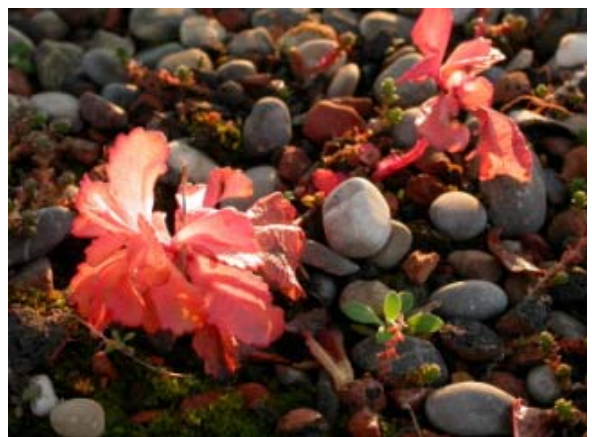


Abb. 40: rot gefärbten Pflanzen

Alle Substrattypen leisteten einen wesentlichen Beitrag an die Gesamtartenvielfalt. Die Dicke der Substratauflage hatte keinen wesentlichen Einfluss auf die Artenvielfalt. Die Solarmodule selbst boten für die Flächen direkt unterhalb relativ ungünstige Bedingungen (Regen- und Lichtmangel) mit entsprechend lückiger Vegetation. Dafür wiesen die nördlich angrenzenden Flächen dank zusätzlichem Traufwasser und Beschattung vor direkter Sonneneinstrahlung eine deutlich dichtere Vegetation auf.

Die farbenfrohe Blumenmischung, die tiefrote Herbstfärbung vor allem der Sedum-Arten und die grünen Moosteppiche haben viele BewohnerInnen der Siedlung erfreut und beeindruckt.

Zürich, Kraftwerk1, Haus A

Untersuchungsflächen mit UFA-Dachkräutern 49 cm

RICOTER Intensiv

FORSTER

RICOTER Extensiv

5. August 2002

8 cm



A06



A04



A01

9. Juni 2003

8 cm



A06



A04



A01

Abb. 41: 3 von insgesamt 12 Untersuchungsflächen im Jahresvergleich

Auch am Ende der Untersuchungsperiode war die Entwicklung der Vegetation noch nicht abgeschlossen. Trotzdem haben sich im Wesentlichen 4 Vegetationstypen ausgebildet:

1. Extensive Flächen mit geringer Vegetationshöhe und Biomasse (Sedum-Moos-Kraut)

Zu diesem Typ gehören Flächen mit einer Einsaat von UFA 17 cm, vor allem auf RICOTER Extensiv (6cm und 8 cm), teilweise auch RICOTER Intensiv. Sie weisen eine hohe Artenzahl und meist einen hohen Anteil an Sedum-Pflanzen und zumeist Moose auf. Zum Teil entwickeln sich dominante Gras- und Weissklee-Bestände, welche andere Arten verdrängen und deren zukünftige Entwicklung ungewiss ist. Es gibt nur vereinzelte hohe Pflanzen, welche die Module beschatten könnten.

2. Mittlere Flächen mit Moosen (Sedum-Moos-Kraut)

Auf RICOTER Extensiv Flächen entwickelten sich auch mit der Einsaat von UFA 49 keine sehr üppigen Bestände. Moose, Sedum und Nelkengewächse waren gleichermassen stark vertreten, die Artenzahl hoch. Eine ähnliche Vegetation entwickelte sich auf einer RICOTER Intensiv Fläche (nur 6 cm) mit UFA 17 cm.

3. Mittlere Flächen mit wenig Moosen (Sedum-Kraut)

Dieser Vegetationstyp etablierte sich auf Flächen mit Einsaat von UFA 17 cm auf drei Substrat-typen: RICOTER Intensiv 8 cm, FORSTER 8 cm, FORSTER 6 cm. Den Hauptbestandteil bildeten meist nicht sehr hochwüchsige verschiedene Kräuter. Nur selten erreichten Körbchenblütler, Nelkengewächse oder Sedum-Arten höhere Deckungen. Die Artenzahl bewegte sich im Mittel.

4. Relativ intensive Flächen (Sedum-Kraut-Gras)

Zu diesem Typ gehören alle Flächen mit einer Einsaat von UFA 49 cm, ausser jene auf RICOTER Extensiv. Auf RICOTER Intensiv dominieren teilweise Gräser und verschiedene Kräuter, auf FORSTER Nickendes und gemeines Leimkraut und Färberkamille. Die Bestände sind meistens zu hoch (Beschattung der Module!) und artenarm.

Tabelle 2: Vegetationstypen

No.	Vegetationstyp	Einsaat	Substrate	Ø Arten / Teilfläche	Beschattung der Module (hohe Pflanzen)
1	Sedum-Moos-Kraut	UFA 17 cm	RICOTER Extensiv	16.3	Sehr selten
2	Sedum-Moos-Kraut	UFA 49 cm UFA 17 cm	RICOTER Extensiv RICOTER Intensiv 6 cm	18	selten
3	Sedum-Kraut	UFA 17 cm	FORSTER RICOTER Intensiv 8 cm	15.3	vereinzelt
4	Kraut-Gras	UFA 49 cm	FORSTER RICOTER Intensiv	13	häufig

Tierwelt

Im Sommer wurden zahlreiche Schmetterlinge, Hummelschweber, Abendfalter, Bienen und Hummeln gesichtet – im 9. Stockwerk! Besonders die grosswüchsigen Arten in der Saatmischung UFA 49 bilden Nahrungsquellen für viele Blütenbesucher. Die hohe Strukturvielfalt durch die unterschiedlichen Vegetationsformen muss sich auch auf die Diversität von Insekten und anderen wirbellosen Tieren auswirken. Zusätzlich bieten die Solarmodule schattige und kühlere Bereiche, die den Tieren Zuflucht vor der Witterung oder zu hoher Sonneneinstrahlung bieten.



Abb. 42: Hummel im 9. Stockwerk

VERGLEICH MIT ANDEREN DÄCHERN

Um die Erkenntnisse mit den Sofrel-Dächern vergleichen und erweitern zu können, wurden parallel in Basel fünf zum Teil ältere Dachbegrünungen mit Solaranlagen untersucht. Insbesondere sollten mit der Zusatzuntersuchung Erkenntnisse zur mittel- und langfristigen Entwicklung der Vegetation auf der Anlagekombination Grün- und Solardach gewonnen werden. Folgende Fragestellungen wurden vertieft betrachtet:

- Entwicklung des Unterhalts von Dachbegrünungen
- Auswirkungen von Solaranlagen auf die Artenvielfalt von Dachbegrünungen
- Vegetationsdifferenzierung vor und unter den Solarmodulen

Untersuchte Flächen:

- UBS Ausbildungszentrum (4'000 m², 1993)
- Basler Zeitung (1'500 m², 2001)
- Messehalle 1 (16'000 m², 2000)
- Altersresidenz Schwarzpark (600 m², 2001)
- Wasgenring (600 m², 2000)



Abb. 43: Dachbegrünung UBS Ausbildungszentrum

Die Arten wurden jeweils in einem Transekt von 1 x 2m direkt vor und unter den Panels aufgenommen und bezüglich ihrer Dominanz eingestuft. Neben der Aufnahme der Flora wurden auch der Bedeckungsgrad, die maximale und mittlere Wuchshöhe, die Substratmächtigkeit sowie die Grösse der Panels aufgenommen. Die detaillierten Resultate sind im Schlussbericht „Begrünte Dächer und Photovoltaikanlagen in Basel 2002 – 2006“ [8] publiziert.

Der Energieertrag der Photovoltaik-Anlagen wurde ausserdem mit dem Ertrag weiterer Anlagen (Schrägdach, Flachdach) in Zürich verglichen.

Wartungsaufwand

Auf vier der fünf untersuchten Dachflächen beschränkte sich die Wartung auf jährliche Kontrollgänge bei denen einzelne hohe Pflanzen ausgerissen wurden, welche die Module beschatteten. Bei der Anlage „UBS Ausbildungszentrum“ wurde das Gras einmal im Jahr gemäht, um eine Beschattung der Panels zu vermeiden (Abb. 43). Aus biologischer Sicht wäre das Mähen bei dieser Anlage nicht nötig.

Bei keiner Anlage traten so starke Beschattungen durch Pflanzen auf, wie sie bei Kraftwerk1 festgestellt wurden. Das lag auch daran, dass keine Gehölzpflanzen und Königskerzen gefunden wurden, einzig Gräser und Kräuter überragten teilweise die Module. Besonders bei der Anlage „Basler Zeitung“ fiel auf, dass der Pflanzenwuchs direkt vor den Modulen am stärksten und höchsten war (Abb. 44). Durch das ablaufende Regenwasser von den Modulen herrschten hier wahrscheinlich die besten Bedingungen für den Pflanzenwuchs. Um die Beschattung der Module zu vermeiden, wird deshalb empfohlen, direkt vor den Modulen das Substrat nur dünn aufzutragen und keine hochwachsenden Pflanzen anzusäen.



Abb. 44: höher wachsende Pflanzen direkt vor den Solarmodulen, Anlage „Basler Zeitung“



Abb. 45: Unterschiedliche Vegetation vor und unter den Panels bei „Messehalle 1“

Vegetation und Tierwelt

Insgesamt wurden 45 verschiedene Pflanzenarten auf den untersuchten Dachflächen erfasst. Auf den einzelnen Dachflächen lag die Artenzahl in den ausgewählten Klein-Transekten von 2 m² (1 x 2m) zwischen 14 Arten (Messehalle) und 24 Arten (UBS Ausbildungszentrum und Basler Zeitung). Diese Gesamtzahl kann nicht mit der Artenzahl von Kraftwerk1 in Zürich verglichen werden, da bei den Solgreen-Anlagen die gesamte Dachfläche untersucht wurde und nicht nur 2 m².

In den ersten Jahren nach der Dachbegrünung dominierten die angesäten Pflanzen die Vegetation. Die Artenzusammensetzung und die Vegetationsdichte unter und vor den Panels unterschied sich dabei deutlich (Abb. 45). Beim ältesten Dach „UBS Ausbildungszentrum“ zeigte sich nach 12 Jahren eine zunehmend eigenständige, an den Standort angepasste Entwicklung der Vegetation. Insbesondere entwickelte sich die Vegetation unter und vor den Panels unterschiedlich. Bei „UBS Ausbildungszentrum“ waren nur noch 8 von 24 Arten auf beiden Seiten der Panels vorhanden. Von den 45 erfassten Pflanzenarten waren 12 (26.7%) lediglich unter den Panels zu finden. Ausgehend von diesem Wert kann geschätzt werden, dass sich jeweils einige zusätzliche Arten auf einer Dachbegrünung ansiedeln können, wenn Solaranlagen zusätzliche Habitatnischen bilden. Insbesondere

Arten, die etwas höhere Feuchtigkeitsansprüche aufweisen, können sich in den beschatteten Bereichen ansiedeln.



Abb. 46: Kleine Substrathügel erhöhen die Artenvielfalt auf dem Dach, hier bei der Altersresidenz Schwarzpark

Energieertrag

Im Vergleich mit weiteren Anlagen (Schrägdach, Flachdach) in Zürich hat die Anlage Kraftwerk 1 einen überdurchschnittlich hohen Ertrag. Im Jahr 2005 betrug der Jahresertrag der drei Anlagen von Kraftwerk1 rund 1002 kWh/kWp während der durchschnittliche Jahresertrag von PV Anlagen in Zürich bei 908 kWh/kWp lag. Die Gründe für diesen Ertragsunterschied von fast 10% können nicht genau bestimmt werden. Zum Teil ist er darauf zurückzuführen, dass einzelne der anderen PV Anlagen technische Defekte aufwiesen die zu Ertragseinbussen führten. PV Anlagen die in ein Schrägdach integriert sind, haben aufgrund der schlechteren Durchlüftung höhere Modultemperaturen und deshalb besonders im Sommer einen tieferen Ertrag. Und schliesslich spielen weitere Einflüsse des Materials (Module und Wechselrichter) sowie des Mikroklimas eine Rolle.

Schlussfolgerungen / Perspektiven

Die Untersuchungen der Sofrel-Anlagen bei Kraftwerk1 und weiteren Anlagen haben gezeigt, dass Gründächer und Photovoltaik-Anlagen weitgehend problemlos kombiniert werden können.

Während dem gesamten Untersuchungszeitraum von 5 Jahren traten keine technischen Probleme auf. Die Module und Unterkonstruktion zeigten weder Korrosion noch Verformungen. PH Messungen des Bodens ergaben einen pH-Wert zwischen 6 und 7. Dies bedeutet für die Unterkonstruktion aus verzinktem Stahl und Aluminium ein minimales Korrosionsrisiko. Tatsächlich wurde zwar im Übergang zum Substrat eine leichte Verfärbung der Unterkonstruktion gefunden, aber keine Korrosion. Messungen zeigten, dass die Querprofile der Modulunterlage keine relevant höheren Modultemperaturen zur Folge hatten. Obwohl die Querprofile eine Windbarriere darstellen, wurden nur in der Mitte der Modulfläche punktuell höhere Temperatur gemessen als bei Längsprofilen.

Die Aufständigung mit rahmenlosen Modulen hat sich bestens bewährt. Das Regenwasser konnte ungehindert ablaufen und bis zum Ende der Untersuchungsperiode setzte sich kein Schmutz an. Eventuell hat auch die erhöhte Aufständigung und die reinigende Wirkung der Pflanzen auf die Luft dazu beigetragen, dass die Module sauber blieben. Im Vergleich mit anderen Photovoltaik-Anlagen in Zürich produzierten die Anlagen von Kraftwerk1 überdurchschnittlich hohe Erträge. Die Pflanzendecke hat evtl. zu einer Ertragssteigerung beigetragen, da die Pflanzen die Luft reinigen und durch Wasserspeicherung die Luft kühler bleibt als auf Kiesdächern.

Die Vegetation entwickelte sich auf den 12 verschiedenen Versuchsflächen und den nicht neu angesäten Flächen sehr unterschiedlich. Tendenziell nahm die Artenzahl und der Deckungsgrad der Vegetation mit den Jahren zu. Es bildeten sich je nach Substrat und Saatgut 4 verschiedene Vegetationstypen aus. Diese reichen von Sedum-Moos bis zu Kraut-Gras Gesellschaften. Damit leisten die untersuchten Dächer einen bedeutenden Beitrag an die lokale Biodiversität.

Als Problem stellten sich dagegen einige hochwachsende Pflanzen heraus, welche die Module beschatteten. Hauptsächlich handelte es sich dabei um Königskerzen und Gehölze (Pappeln, Weiden), die nicht im ursprünglichen Saatgut vorhanden waren. Diese Pflanzen konzentrierten sich hauptsächlich auf nicht neu angesäte Stellen, die nur eine schwache Vegetationsdecke aufwiesen. Sie mussten in mühsamer Handarbeit gerodet werden. Besonders die Königskerzen führten zu messbaren Ertragseinbussen. Auf anderen Dächern wurden nur in den ersten Jahren oder überhaupt keine Probleme mit Gehölzpflanzen festgestellt. Es wird deshalb vermutet, dass Gehölzpflanzen nur keimen können, wenn die Vegetationsdecke offen ist und die Pollen ungehindert auf das Substrat gelangen und dort gedeihen können. Es ist ein Saatgut zu empfehlen, das schnell eine geschlossene Pflanzendecke bildet. Falls sich trotzdem Gehölzpflanzen ansiedeln, sollten sie unbedingt frühzeitig gerodet werden.

Auch auf den Versuchsflächen kam es teilweise zu Beschattung der Module durch Pflanzen. Dies war hauptsächlich auf Flächen mit der Samenmischung UFA 49 und gleichzeitig einem reichen Substrat der Fall. Die Samenmischung UFA 49 enthielt grosswüchsige Arten wie Färberkamille, Gemeine Margerite, Nickendes und Gemeines Leimkraut und Natternkopf. Auf Substraten mit höherer Wasserkapazität (hier RICOTER Intensiv, FORSTER 8cm) verdrängen diese Pflanzen ausserdem andere Arten. Auf ärmeren Substraten bleibt ihre Entwicklung jedoch zurück und verträglich. Um Beschattung zu vermeiden, sollten solche Arten deshalb nicht direkt südlich vor den Solarmodulen angesät werden. Zusätzlich kann das Substrat vor den Solarmodulen dünner aufgetragen werden. Grosswachsenden Pflanzen wird so die Grundlage entzogen (Abb. 47).

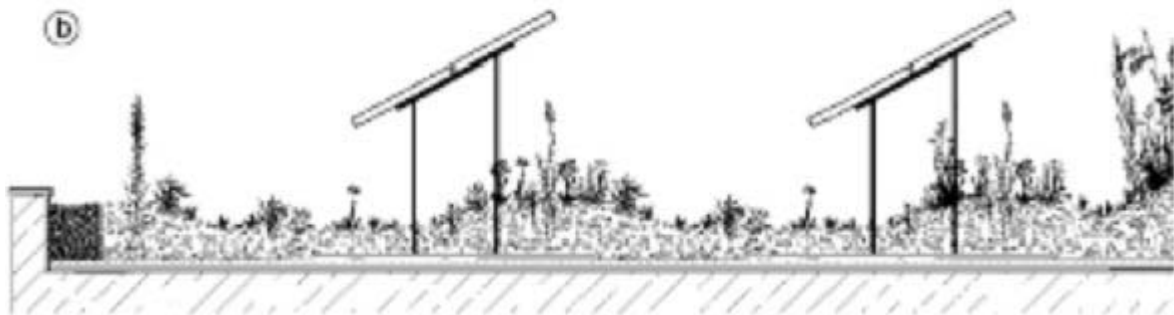


Abb. 47: Eine dünnere Substratschicht vor den Modulen verhindert das Wachstum hoher Pflanzen. Zusätzlich führen unterschiedliche Substratdicken zu einer höheren Artenvielfalt.

Allerdings sollte nicht ganz auf grosswüchsige Arten verzichtet werden. Denn sie bilden einen wesentlichen Bestandteil der strukturellen Diversität, bieten Nahrungsquellen für zusätzliche Blütenbesucher und sind durch das üppige Wachstum und die lange Blütezeit auch ästhetisch interessant. Alleinige extensive Sedum-Moos-Kraut Gesellschaften auf RICOTER Extensiv sind unbefriedigend, da sie artenärmer sind als Mischformen und eine relativ geringe Strukturvielfalt aufweisen. Dies wirkt sich auch negativ auf die Diversität von Insekten und Tieren aus. Je nach Dachart müssen reichere Gras-Kraut Vegetationen aber eventuell auf unproblematische Bereiche ausserhalb der Photovoltaik-Anlage beschränkt werden.

Nicht alle Problemarten können mit einer stellenweisen dünnen Substratschicht „kleingehalten“ werden. Dies trifft insbesondere auf spezialisierte Spontanbesiedler (zum Beispiel Gänsedistel, Kanadisches Berufskraut) und Gehölzpflanzen zu. Regelmässige Unterhaltsarbeiten sind deshalb nötig, um solche Pflanzen zu eliminieren.

Die Entwicklung der Vegetation ist immer noch nicht abgeschlossen und kann nur bedingt vorausgesagt werden. Zufällige Ereignisse wie die Ansiedlung neuer Arten, die Reaktion auf verschiedene Wetterlagen etc. können das Bild wesentlich verändern. Es zeigt sich aber klar, dass die Solarmodule zu einer höheren Diversität auf dem Dach führen, da sie zusätzlich beschattete und witterungsgeschützte Bereiche schaffen. Auch die Tierwelt profitiert von dieser Strukturvielfalt. So können sich z.B. auch Spinnen und andere Insekten ansiedeln, die auf „normalen“ Gründächern wegen der hohen Hitze und Trockenheit nicht überleben können.

Publikationen

Artikel über das Solgreen-Projekt im Tagesanzeiger vom 26. November 2004 und in der Zeitschrift „wohnen“ vom Mai 2005 lösten bei den Lesern zahlreiches Interesse hervor. Offenbar faszinierte die Vorstellung von Schmetterlingen auf dem 9. Stockwerk die Leser. Einige meldeten sich telefonisch bei der Enecolo AG um mehr darüber zu erfahren.

Zusätzlich wurden Resultate der Untersuchungen auf der Nationalen Photovoltaik Konferenz in Zürich dem Schweizer Fachpublikum vorgestellt. Und mit einem Posterbeitrag war Solgreen auch an der 19. Europäischen Photovoltaik Konferenz in Paris vertreten, die vom 7 – 11 Juni 2004 stattfand.

Das Gründach kann gleichzeitig ein Solardach sein

Gründach oder Fotovoltaikanlage? Sowohl als auch! Natur und Technik lassen sich kombinieren und profitieren sogar voneinander.

Von Christa Rosatzin-Strobel

Auf den Dächern der Bau- und Wohnungsgenossenschaft Kraftwerk 1 in Zürich wird die Energie der Sonne doppelt genutzt: Tiere und Pflanzen wachsen im günstigen Klima des Gründachs, und Solarzellen produzieren Strom.

Wie kleine Bäume ragen die Fotovoltaikmodule zwischen den Pflanzen in die Höhe. Die Zellen sind in einem Winkel von 35° bis 45° gegen Süden geneigt und stehen 30 bis 40 cm über der Oberfläche. So bleibt genug Platz für die Vegetation, und die Solarzellen werden kaum von den Pflanzen beschattet.

Für das Dach keine Last

Getragen werden die Fotovoltaikmodule von Ständern, die auf herkömmlichen Platten aus recyceltem Kunststoff befestigt sind. Kies und Humus beschweren die Unterlage, die wie das Wurzelwerk eines Baumes im Bodensubstrat verankert ist.

Solgreen, so der Name des Montagesystems, kann auch starken Windböen standhalten. Dabei trägt das Dach nur gerade 27 kg pro m² zusätzlich, laut Jochen Rasmussen, Projektverantwortlicher bei Enecolo AG in Münchenloof, eine unkritische Last: «Die Solarmodule können auch auf bestehende Gründächer montiert werden.» Solgreen wurde von Enecolo in Zusammenarbeit mit weiteren Fir-



Solarzellen und Pflanzen machen sich auf dem Dach keine Konkurrenz, im Gegenteil.

men entwickelt und ist in der Schweiz patentrechtlich geschützt.

Was ist die Motivation, Solarzellen auf Gründächern zu installieren? Jochen Rasmussen erklärt: «Wir möchten mehr Grünflächen schaffen. Bepflanzte Dächer beherbergen eine Artenvielfalt, die sonst in Städten nirgends zu finden ist.» Hauseigentümer seien eher bereit, ihr Dach für eine Fotovoltaikanlage zur Verfügung zu stellen, wenn sie gleichzeitig die zahlreichen Vorteile eines Gründachs nutzen könnten. «Zudem lassen sich Gründach und Fotovoltaik so kombinieren, dass Natur und Technik voneinander profitieren», sagt Rasmussen.

Für das Gründach gibt es viele Argumente

Begrünte Dächer sind schmuck, aber auch nützlich und dies gleich mehrfach.

Gründächer schaffen wichtige Lebensräume für Pflanzen und Tiere. Darüber hinaus bietet die Bepflanzung viele ökologische und bautechnische Vorteile:

■ **Wasserrückhalt:** Gründächer halten 50 bis 90 Prozent der

Niederschläge zurück. Kanäle und Leitungen können entsprechend kleiner ausgelegt werden.

■ **Filterung von Schadstoffen:** Die Pflanzen produzieren Sauerstoff und verbrauchen Kohlendioxid. Staub und Schadstoffe werden aus der Luft gefiltert.

■ **Klimaausgleich:** Durch die Verdunstung des im Bodensubstrat gespeicherten Regenwassers wird die Luft gekühlt und befeuchtet.

■ **Verlängerung der Lebensdauer:** Die Begrünung schützt das Dach vor den Folgen der UV-Strahlung, von Hitze, Kälte und Hagelschlag.

■ **Schallschutz:** Die Bepflanzung vermindert die Schallreflexion und verbessert die Schalldämmung.

■ **Wärmedämmung:** Kies, Humusschicht und Pflanzen schützen im Winter vor Kälte und im Sommer vor Hitze. (chr)

Die Natur gewinnt durch eine höhere Artenvielfalt. Denn im schattigen und eher feuchten Klima unter den Fotovoltaikmodulen wachsen andere Pflanzenarten als an der prallen Sonne. Die Solarzellen sind durch die Distanz zur Oberfläche ausreichend hinterlüftet, also gut gekühlt. Dies wirkt sich auf die Stromproduktion aus: Je besser die Kühlung, desto höher der Stromertrag. Die Pflanzen sorgen zudem für ein kühleres Klima, indem sie das im Substrat gespeicherte Regenwasser verdunsten. Rasmussen schätzt, dass dies den Ertrag um zwei bis drei Prozent verbessert.

Doch nicht alle Pflanzenarten eignen sich als Partner von Solarmodulen. Zu hohe Gewächse schatten die Zellen ab und mindern den Stromertrag. Nahe liegend wäre eine extensive Bepflanzung. Dabei bedecken anspruchslose Gewächse wie Moose, Gräser oder Sedumarten das Dach. Die Pflanzen wachsen nicht sehr hoch und müssen kaum gepflegt werden. Doch damit gibt sich Markus Meier, Biologe bei Flora und Fauna

Consult in Zürich, nicht zufrieden: «Auf extensiv bepflanzten Dächern sind in der Regel nur etwa zehn verschiedene Pflanzenarten zu finden. Wir streben eine weit höhere Artenvielfalt an.»

Im Rahmen eines Pilot- und Demonstrationsprojektes des Bundesamtes für Energie werden mit Unterstützung des Amtes für Umwelt und Energie, Basel-Stadt, mehrere Kombinationen von Gründach und Fotovoltaik systematisch beobachtet.

Schmetterlinge im 9. Stock

Auf den Dächern des Kraftwerks 1 legte Markus Meier Versuchsfächen mit unterschiedlichen Substraten und ausgesuchtem Saatgut an. Erste Erfolge sind sichtbar: Der Biologe fand 80 Pflanzenarten. Nur 7 davon wuchsen über die Oberkante der Solarzellen, 13 ragten über die untere Kante. In der Stromproduktion machte sich dies kaum bemerkbar. Im Vergleich mit anderen Anlagen in Zürich ohne Gründach konnte beim Kraftwerk 1 ein überdurchschnittlich hoher Energieertrag gemessen werden.

Markus Meier wird das Pflanzenwachstum in den nächsten Jahren weiter beobachten. Denn die Vegetation deckt heute erst etwa 50 Prozent der Dachfläche, sodass sich fremde Gewächse noch gut einnisten können. «Etwa die Hälfte aller Pflanzen sind nicht Teil der Aussaat, sondern angefliegen», schätzt der Biologe. Die Vegetation brauche fünf bis sechs Jahre, um sich zu stabilisieren.

Mit den Pflanzen haben sich auch Kleintiere auf dem Gründach eingenistet. Im Sommer wurden zahlreiche Schmetterlinge, Hummeln, Bienen und andere Insekten beobachtet – im neunten Stockwerk mitten in der Stadt.

Abb. 48: Artikel über Solgreen im Tagesanzeiger vom 26. November 20

Referenzen

- [1] **Solgreen, ein System zur Verbindung von Gründächern mit Photovoltaikanlagen**, P. Toggweiler, O. Meichsner, Schlussbericht PV P+D, DIS 37527 / 77266, Dezember 2001. Zu beziehen beim BfE
- [2] **Annual Report 2001, Solgreen Kraftwerk 1**, Zu beziehen beim BfE
- [3] **Annual Report 2002, Solgreen Kraftwerk 1**, Zu beziehen beim BfE
- [4] **Annual Report 2003, Solgreen Kraftwerk 1**, Zu beziehen beim BfE
- [5] **Annual Report 2004, Solgreen Kraftwerk 1**, Zu beziehen beim BfE
- [6] **Annual Report 2005, Solgreen Kraftwerk 1**, Zu beziehen beim BfE
- [7] **Annual Report 2006, Solgreen Kraftwerk 1**, Zu beziehen beim BfE
- [8] **Solgreen Kraftwerk1 Zürich –Vegetation und Boden**, Schlussbericht 2001 – 2006, Markus Maier, Flora + Fauna Consult, Zürich, 2006. Zu beziehen bei Enecolo AG
- [9] **Begrünte Dächer und Fotovoltaikanlagen in Basel 2002 – 2006**, Begleituntersuchung zum Projekt Solgreen Kraftwerk 1, Dr. Stephan Brenneisen, Evelyne Trachsel, Basel, 2006. Zu beziehen beim Amt für Energie in Basel.
- [10] **Short report – SOLGREEN installation**, Kraftwerk 1, D. Rouss, J. Rasmussen, Mai 2001
- [11] **Dachbegrünung Kraftwerk1 – Solgreen-Anlagen Vegetation und Boden**, 2001-2002, M. Maier, September 2002
- [12] **Kraftwerk 1 photovoltaic plant**, Thermographic analysis, Enrico Burà, Juni 2002
- [13] **Solgreen Kraftwerk1**, Windlastmessungen 2002, J. Rasmussen, November 2002
- [14] **Diplomarbeit SOLGREEN**, Michael Benner, Oktober 2000, Fachhochschule Köln, nicht veröffentlicht
- [15] **Das Gründach kann gleichzeitig ein Solardach sein**, Christa Rosatzin-Strobel, Zeitungsartikel im Tagesanzeiger vom 26. November 2004
- [16] **Schmetterlinge im 9. Stock**, Christa Rosatzin-Strobel, Artikel in der Zeitschrift „wohnen“ vom Mai 2005
- [17] **First Performance Results of the new Mounting System Structure on Green Roofs**, J. Rasmussen, P. Toggweiler, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 7 – 11 June 2004, Paris, France, p. 2904 - 2906