

Grosse neue Solaranlagen in der Schweiz

Wichtiger Beitrag zur Energiewende

Die Energiestrategie 2050 des Bundes setzt neben Massnahmen zur Förderung der Energieeffizienz stark auf erneuerbare Energien und zu einem grossen Teil auf Solarstrom bzw. auf Fotovoltaik (PV). Während der Bund die Ziele für den PV-Anteil an Strom längerfristig steckt, sieht Swissolar, der Fachverband der Solarbranche, einen Anteil von 20 % PV-Strom bis schon 2025 als realistisch. Drei Beispiele, die zusammen jährlich über 4,7 GWh erzeugen, zeigen auf, dass der PV-Markt in der Schweiz mit grossen Schritten vorangeht.

Roland Frei, David Stickelberger, Peter Toggweiler

Die Meinungen darüber, wie schnell die Fotovoltaik einen deutlichen Beitrag an die Stromversorgung leisten wird, gehen stark auseinander. Man ist sich aber darin einig, dass das Potenzial noch bei Weitem nicht erschöpft ist. Die Beispiele dreier Grossanlagen zeigen auf, welche Herausforderungen es zu meistern gilt, welche Möglichkeiten sich anbieten und welche Realisierungsgeschwindigkeiten erreicht werden können.

Grösstes selbst erstelltes Solarkraftwerk der Schweiz

Mit ihrer Genfer Liegenschaft Halle d'entrepôt Sauvin Schmidt trat die SGI, Schweizerische Gesellschaft für Immobilien AG, im Jahr 2010 an die Schweizer Ingenieurfirma für Solarkraftwerke, Energiebüro AG, heran. Während zweier Jahre wurde die Umsetzbarkeit und Rentabilität eines Solarkraftwerks auf der über 20 000 m² grossen Nackt-Dachfläche der Liegenschaft durch die Energiebüro AG geprüft.

Nach Erhalt des Baubewilligungsentscheids im 2. Quartal 2012 wurde das Solarkraftwerk in einer Rekordzeit von nur 6 Wochen umgesetzt und per Mitte September 2012 erfolgreich ans Netz geschaltet. Mit einer Peakleistung von über 1,5 MW wurde somit das grösste je durch einen Objekteigentümer selbst erstellte, finanzierte und betriebene Solarkraftwerk der Schweiz gebaut.

Das Solarkraftwerk besteht aus 320 Strängen mit einer Peakleistung von je

4,9 kW. Der Aufständigungswinkel der Solarmodule von 10° erlaubt eine ballastoptimierte Anordnung der Solarmodule untereinander und eine optimierte Flächenausnutzung (Bild 1) unter Miteinbezug der technischen Vorgaben seitens des in der Nähe liegenden Flughafens Genève Aéroport. Mit den 6400 polykristallinen Silizium-Solarmodulen wird ein

Ertrag von über 1500 MWh pro Jahr erreicht, was dem Verbrauch von mehr als 500 Durchschnittshaushalten entspricht. Der Wirkungsgrad der eingesetzten Zellen beträgt 14,9% unter Standardtestbedingungen (STC, 1000 W/m² Einstrahlung, 1,5 AM Atmosphärendurchtritt Licht, 25°C Temperatur).

Statik als Herausforderung

Das bestehende Gebäude mit seinem Folien-Nacktdach verfügte nur über minimale statische Reserven (< 20 kg/m²). Normalerweise werden Solarmodule auf Flachdächern durch Gewichte beschwert (Schwerlastfundation), um sie vor Wind- und Schneelasten zu sichern – und nicht mittels Verankerungen in das Dach mit entsprechend für undichte Stellen anfälligen Dachdurchdringungen. Aufgrund fehlender Dacheindeckung konnte kein Gewicht des bestehenden Dachaufbaus (z.B. Kies-/Grünsubstrateindeckung) substituiert oder mittels Schwerlastfundation zur Sicherung der Solarmodule gegen Wind- und

Energiebüro AG



Bild 1 Blick auf Dachfläche in Genf.



Energiebüro AG

Bild 2 Container mit jeweils mehreren Wechselrichtern und einem Mittelspannungstransformator, aufgeständert auf dachdurchdringender Stahlkonstruktion.

Soglasten genutzt werden. In einer ersten Betrachtung schien die Umsetzbarkeit des Projekts gefährdet.

Dank neuer Entwicklungsschritte während der letzten beiden Jahre im Be-

reich Unterkonstruktionen sowie der Zusammenarbeit des Gesamtplaners Energiebüro mit den Bauingenieuren der Synaxis AG Zürich konnte eine Lösung erarbeitet werden, die alle Rahmenbedin-

gungen erfüllte und ohne eine einzige Durchdringung der Dachhaut auskommt. «Dabei wurde eine differenzierte Betrachtung der maximalen Traglastreserve für Binder, Pfetten und dachtragende Blecheindeckung vorgenommen. Und mit Montavent AG wurde ein Partner gefunden, welcher projektspezifisch eine aerodynamische und ballastoptimierte Unterkonstruktion entwickelte, die in Windkanaltests geprüft worden ist», führt Roland Frei, Geschäftsführer Energiebüro, aus. Dank des entsprechenden Zusammenspiels aller Parteien ist eine komplexe Lösung mit Spoiler statt Gewicht (**Bild 3**) entstanden, welche die Umsetzbarkeit des Solarkraftwerks ermöglichte und trotzdem finanziell tragbar war.

Die Netzeinbindung wurde vorausschauend gelöst

Da es sich bei der Halle d'entrepôt Sauvin Schmidt der SGI mehrheitlich um ein Lager- und Logistikgebäude handelt, wurde die Hausanschlussleistung bei der Erstellung des Gebäudes entsprechend minimal dimensioniert. Für die Rückspeisung der Solarkraftwerks-



Energiebüro AG

Bild 3 Leichtbauunterkonstruktion mit Spoiler am Heck des Aufständersystems.

leistung auf Niederspannungsebene wäre ein Anschluss von mindestens 2,5 kA notwendig geworden. Aufgrund der angetroffenen Situation, verschiedener Variantenbetrachtungen sowie in Rücksprache mit dem örtlichen Energieversorger SIG (Services Industriels de Genève) kam bei der Anschlussleistung des Solarkraftwerks (1,5 MVA) nur die Rückspeisung des Solarstroms auf Mittelspannungsebene (MS) infrage. Die SIG betreibt zurzeit ein 18-kV-MS-Netz, beabsichtigt jedoch in mittelfristiger Zukunft, die Spannung des MS-Netzes auf 21 kV anzuheben, um dadurch leistungsfähiger zu werden. Um zukünftige Folgekosten für das Solarkraftwerk bei der Umstellung der Spannung von 18 kV auf 21 kV zu vermeiden (Austausch der Transformatoren), wurden von Anfang an Dual-Range-Transformatoren eingeplant, die den Mittelspannungsbereich entsprechend anpassen können.

Innerhalb der Halle d'entrepôt Sauvin Schmidt der SGI besitzt und betreibt die SIG eine Mittelspannungs-Hauptverteilung mit Transformatoren, in der die bestehende Mittelspannungs-Schaltanlage um ein MS-Tableau für die Netzzurückspeisung des Solarstroms auf MS-Ebene erweitert werden konnte. Für die Einbringung eines zusätzlichen Transformators für die Transformation des Solarstroms auf MS-Ebene fehlte jedoch der entsprechende Platz in der bestehenden Infrastruktur. Die Bereitstellung eines neuen technischen Raums im bestehenden Gebäude kam aus Platzgründen nicht infrage.

Die einzige Möglichkeit war die Platzierung von Kompaktstationen im Aussenbereich, unter Einhaltung aller Normen. Die beiden Kompaktstationen, bestehend aus je 2 bzw. 3 MS-Wechselrichtern sowie je einem Dual-Range-Transformator, wurden auf ein neu erstelltes Podest auf einem Zwischendach der Liegenschaft gestellt (Bild 2). Aufgrund des Gewichtes der beiden Kompaktstationen musste das Podest in das Fundament des Gebäudes verankert werden.

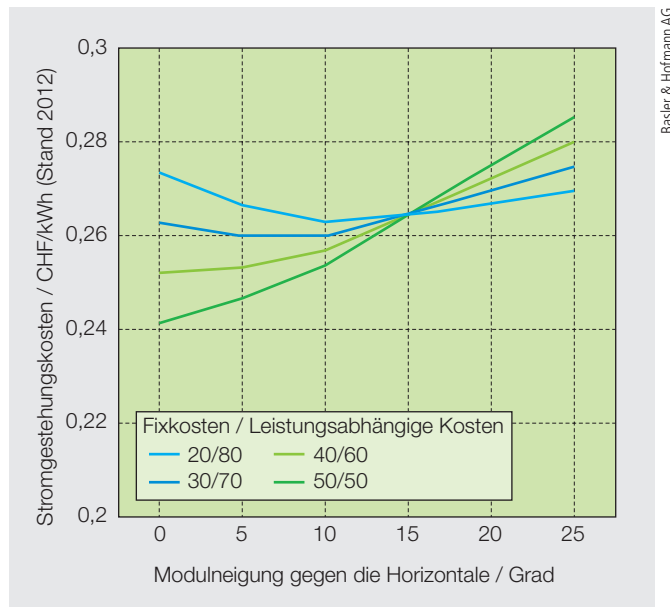
Dank des koordinativen Zusammenspiels zwischen dem Eidgenössischen Starkstrominspektorat (ESTI) und der Services Industriels de Genève konnte das grösste je durch einen Objekteigentümer selbst erstellte, finanzierte und betriebene Solarkraftwerk der Schweiz innert kürzester Zeit bei den beiden Institutionen erfolgreich ans Netz angeschlossen werden.

Bild 4 Teilansicht auf das Flachdach der Solaranlage Pistor-Edisun Power.



Basler & Hofmann AG

Bild 5 Stromgestehungskosten abhängig von der Modulneigung am Standort Rothenburg (LU) für unterschiedliche Verhältnisse von Fixkosten zu leistungsbezogenen Kosten.



Basler & Hofmann AG

Grösste Solarstromanlage der Zentralschweiz

Die Solaranlage auf den Dächern der Pistor AG in Rothenburg (Bild 4) wurde vom Lebensmittelgrosshändler zusammen mit der Edisun Power AG erstellt.

Zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme war die Power-Solaranlage von Pistor und Edisun mit einer erwarteten Jahresproduktion von rund 720 MWh die grösste Solarstromanlage der Zentralschweiz. In der bisherigen Betriebszeit seit November 2010 wurde dieser Erwartungswert deutlich übertroffen. Geplant wurde die Anlage von Basler & Hofmann AG und gebaut von BE Netz AG.

Neben der Grösse der Solaranlage fallen drei weitere Merkmale besonders auf: Die Solarmodule sind fast horizontal auf dem Flachdach montiert, die Wechselrichter sind unmittelbar bei den Solarmodulen auf dem Dach platziert, und die Einspeisung erfolgt auf zwei vorhandene Trafos mit der Messung als Hinterschaltung.

Optimale Ausnutzung der Dachfläche

Die Neigung der Solarmodule auf dem Flachdach beträgt wegen der begrenzten Bauhöhe nur 3°. Dies ist jedoch für die optimale Nutzung der Dachfläche vorteilhaft, weil so die ungenutzten Flächen minimiert sind. Weitere Vorteile sind der reduzierte Materialverbrauch, Einsparungen bei den Montagekosten und besonders auffällig das ästhetisch attraktive Erscheinungsbild.

Für den optimalen Aufständerungswinkel wurde, ausgehend von der Referenzaufständerung mit 15°, eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Der Abschattungswinkel von 16° wurde konstant gehalten, somit bestimmt der Aufständerungswinkel direkt die am Standort mögliche Nennleistung der Anlage.

Je kleiner der Neigungswinkel, desto mehr Module passen auf das Dach und desto höher ist die Nennleistung der Anlage. Der Energieertrag pro Modul nimmt jedoch ab, weshalb der Preis pro kWh zunimmt.

Für die Varianten mit flacher Aufständigung wurden wegen der schlechteren Selbstreinigung leicht höhere Unterhaltskosten angenommen. **Bild 5** zeigt, dass bei einem hohen Fixkostenanteil die Module möglichst flach montiert werden sollten. Bei kleinen Fixkosten ist eine Aufständigung von etwa 10° optimal. Es sei betont, dass der gezeigte Fall für einen Standort im schweizerischen Mittelland gilt, in höheren Lagen in den Bergen sind andere Ergebnisse zu erwarten.

Wechselrichter auf dem Dach

Mit der Montage der Wechselrichter auf dem Dach (**Bild 6**) wird die Systemtechnik einfacher, und es wird kein zusätzlicher Raum im Gebäude beansprucht. Gleichzeitig sind dadurch die DC-Leitungen sehr kurz. Die neueste Generation der Wechselrichter erreicht mit rund 98% den höchsten Wirkungsgrad. Ferner waren Einsparungen bei der Installation möglich, weil die Wechselrichter untereinander neu mittels Bluetooth kommunizieren. Der Fernzugriff via Mobilfunknetz ermöglicht die laufende Ertrags- und Funktionskontrolle.

Netzanschluss mit Hinterschaltung

In der Empfehlung für die Anschlussbedingungen für Produzenten von Strom aus erneuerbaren Energien des Bundesamtes für Energie ist die Hinterschaltung erlaubt. Das heisst, die selber oder in diesem Fall von einem Contractor (Edisun Power AG) produzierte Energie kann



Basler & Hofmann AG

Bild 6 Die neueste Generation der Wechselrichter erreicht mit rund 98 % den höchsten Wirkungsgrad. Das Bild stammt aus der Bauphase der Solaranlage Pistor-Edisun Power.

direkt in das private Verteilnetz eingespeist werden. Dies hat erhebliche Vorteile, da die Trafoverluste reduziert werden und kein separater Trafo nötig ist. Demgegenüber verlangt die Hinterschaltung eine gewisse Flexibilität bei der Zählerbewirtschaftung.

In der Praxis hat sich diese Anschlussvariante bestens bewährt. Dank dem Umstand, dass die Einspeiseleistung auf zwei bestehende Trafos à je 1 MVA verteilt werden konnte, sind keinerlei Probleme mit Spannungsschwankungen aufgetreten. Zudem besteht bei der Pistor AG wegen des hohen Kühlbedarfs eine sehr gute Übereinstimmung zwischen der Solarstromproduktion und dem Strombedarf.

Blindleistungen berücksichtigen

Die Energieverordnung (EnV) regelt unter anderem im Rahmen der kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV) die Vergütung für die gelieferte Energiemenge. Die Vergütungen für andere Netzdienstleistungen wie die Reduktion der Bezugsleistung am Einspeisepunkt oder die Kompensation der Blindenergie sind nicht definiert. Mit sinkenden kWh-Preisen erreichen die anderen Netzeffekte einen höheren Anteil und sollten darum künftig vermehrt berücksichtigt werden. Bei Pistor-Edisun-Power verrechnet der Netzbetreiber die Blindleistung an den Strombezüger wie auch an den Stromlieferanten, obwohl sich diese an der Übergabestelle kompensieren können.

Bei modernen Solarwechselrichtern besteht die Möglichkeit, die Abgabe von Blindenergie in begrenztem Umfang zu steuern, dadurch kann ein Blindstrombezug zumindest teilweise kompensiert werden.

Grösste dachintegrierte Anlage der Schweiz

Ende Juni 2012 erhielt die ADEV Solarstrom AG grünes Licht für den Bau einer 2,9-MW-Solarstromanlage auf den Dächern der Ferrowohlen AG und somit für den Bau der bisher grössten dachintegrierten Anlage der Schweiz. Seitdem wird intensiv gebaut, denn bereits Ende 2012 wird die 25 000 m² grosse Anlage auf der Industriehalle im aargauischen Wohlen (**Bild 7**) ans Netz angeschlossen.

Das Hallendach der Industriehalle der Ferrowohlen AG war undicht, und aufwendige Sanierungsarbeiten standen an. Bei der Planung stellte sich das Unterneh-



ADEV Solarstrom AG

Bild 7 Modulmontage der 25 000 m² grossen Anlage auf der Industriehalle der Ferrowohlen AG.

men die Frage, ob anstelle eines neuen Dachs nicht gleich eine Solarstromanlage gebaut werden könnte, die Dachhaut und Stromproduzent in einem ist. «Die ADEV hat in enger Zusammenarbeit mit der Solventure GmbH in Wettingen diese Herausforderung angenommen und eine neue optimierte Lösung entwickelt, die beiden Anforderungen gerecht wird. Die Lösung liegt in einer wartungsfreundlichen Ost-West-Aufständerung mit kristallinen Modulen», erklärt Andreas Appenzeller, Geschäftsleiter der ADEV. Die ADEV-Gruppe, die 1985 als ADEV-Energiegenossenschaft gegründet wurde, produziert dezentral Strom und Wärme aus erneuerbaren Energien.

11 840 PV-Module produzieren zu weniger als 30 Rappen pro kWh

Das Dach der Stahlwerkhalle misst 320 auf 80 m; 11 840 Fotovoltaikmodule werden darauf installiert. Für die ADEV Solarstrom AG ist die neue Anlage ein Meilenstein: «Mit der Investition von 5,6 Mio. CHF verdoppeln wir unsere Solarstromproduktion nahezu», freut sich Andreas Appenzeller. 2011 erzeugten die 40 ADEV-Soldächer insgesamt 3,33 Mio. kWh, nun werden es jährlich zusätzliche 2,5 Mio. kWh sein, womit ein Total von 5,8 Mio. kWh erreicht wird.

Die Gesteungskosten des Solarstroms belaufen sich auf unter 30 Rappen pro kWh. Er wird in das Netz der Industriellen Betriebe Wohlten (IBW) eingespeist und zum Marktwert vergütet. Die Anlage wurde im Juni für die kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) angemeldet. Der ökologische Mehrwert wird bis zur Aufnahme in die KEV, was noch 3 bis 4 Jahre dauern kann, von den St. Galler Stadtwerken übernommen.

Module von zwei Herstellern

Grundsätzlich versucht die ADEV, mit inländischen und europäischen Partnern und Lieferanten zusammenzuarbeiten. Heute kommen aber bereits über 80% der Module aus dem ostasiatischen Raum.

Zurzeit machen europäische Unternehmen mit Konkursmeldungen von sich reden oder lagern ihre Produktion in den ostasiatischen Raum aus. Aufgrund der Haftung im Falle fehlerhafter Module, die bei einem Konkurs eines Herstellers nicht sichergestellt ist, hat die ADEV das Risiko auf zwei Hersteller und Kontinente verteilt: 50% der Module stammen von REC, einem norwegischen Konzern,

Résumé

Nouvelles grandes installations photovoltaïques en Suisse

Une contribution importante au tournant énergétique

La stratégie énergétique 2050 de la Confédération mise, en parallèle aux mesures destinées à améliorer l'efficacité énergétique, fortement sur les énergies renouvelables, en particulier sur le photovoltaïque (PV). Tandis que la Confédération fixe les objectifs de la contribution PV à la production d'électricité à plus long terme, Swissolar, l'Association suisse des professionnels de l'énergie solaire, estime que produire 20 % d'électricité photovoltaïque dès 2025 est tout à fait réaliste. Trois grandes installations photovoltaïques, dont la production annuelle cumulée s'élève à plus de 4,7 GWh, sont présentées en détail. Elles démontrent que le marché du photovoltaïque en Suisse progresse à grands pas. Cependant, elles ne représentent qu'une petite fraction de ce qui est en cours d'installation actuellement en Suisse. Le marché s'accroît de 50 % chaque année, une forte croissance due notamment à la réduction massive des coûts : entre 2009 et 2012, le prix de revient de l'énergie photovoltaïque a baissé d'environ 60 %. Les perspectives pour les années à venir demeurent positives, de sorte que l'objectif consistant à atteindre 20 % d'électricité d'origine photovoltaïque jusqu'en 2025 en Suisse est en cours de concrétisation. No

der vor Kurzem die gesamte Produktion nach Asien ausgelagert hat.

Die anderen 50% werden beim chinesischen Hersteller Trinasolar, mit Europa-Vertretung in Zürich, bezogen. Trinasolar und REC haben eine komplett integrierte Produktion der Solarmodule. Beide Module haben sehr hohe Wirkungsgrade, und die Unternehmen arbeiten nach anerkannten Umweltstandards und rapportieren regelmässig in Nachhaltigkeitsberichten.

Beide Module haben praktisch gleiche Aussenmasse, sodass die Dachintegration von 2 Modultypen auf dem gleichen Dach möglich wurde, ein Modultyp in Ost-Ausrichtung und ein Modultyp in West-Ausrichtung. Damit wird vor allem auch eine ästhetische Gesamtansicht erreicht.

Erfolgreiche Zusammenarbeit

Die Solarstromanlage wird mit neun, je 1 t schweren Solarmax-Zentralwechselrichtern der Bieler Sputnik Engineering AG ausgerüstet. Damit setzt ADEV weiter auf die bewährte Zusammenarbeit mit dem Schweizer Hersteller. Mit Baumeler Leitungsbau konnte ein erfahrenes Team für die Installation der Transformatorenstation beauftragt werden. Die anspruchsvolle Montage von 50 km Solarkabel erledigen eingespielte Montageteams unter der Leitung von Solventure.

Ende 2012 beträgt der Schweizer PV-Ertrag 330 GWh

Die drei Grossanlagen sind beispielhaft für den heutigen Schweizer Solarstrommarkt. Die jährliche Produktion von über 4,7 GWh von nur diesen drei Anlagen versorgt über 1500 Durchschnittshaushalte mit Strom. Diese Anla-

gen sind nur ein Bruchteil dessen, was zurzeit in der Schweiz installiert wird. Swissolar, der Fachverband der Schweizer Solarbranche, rechnet Ende 2012 mit einer Jahresproduktion aller Schweizer PV-Anlagen von mindestens 330 GWh.

Der Markt wächst jährlich um 50%. Mit ein Grund für das starke Wachstum ist die massive Senkung der Kosten: Zwischen 2009 und 2012 sind die Gesteungskosten von Solarstrom um rund 60% gesunken. Die Perspektiven für die nächsten Jahre sind weiterhin positiv, sodass das Ziel, 20% Fotovoltaikstrom bis zum Jahr 2025 in der Schweiz zu erreichen, konkrete Formen annimmt.

Angaben zu den Autoren

Roland Frei ist Geschäftsführer und Mitinhaber der führenden Schweizer Beratungs- und Ingenieurfirma für Solarkraftwerke. Als unabhängiger Gesamtprojektleiter entwickelt, plant und realisiert er seit 1998 national und international preisgekrönte PV-Solarkraftwerke, darunter die grösste Stadionanlage Europas auf dem Stade de Suisse Wankdorf in Bern.

Energiebüro AG, 8005 Zürich, roland.frei@energiebuero.ch

David Stickelberger ist Geschäftsleiter von Swissolar, dem schweizerischen Fachverband für Sonnenenergie. Nach seinem Studium in Geografie an der Uni Zürich wurde er in der kommunalen Umweltberatung tätig und anschliessend während mehrerer Jahre als Verantwortlicher für die Klima- und Energiekampagne von Greenpeace Schweiz. Zwischen 1998 und 2008 hat er zudem den Dachverband der erneuerbaren Energiebranche in der Schweiz, die AEE, geleitet.

Swissolar, 8005 Zürich, stickelberger@swissolar.ch

Peter Toggweiler, El.-Ing. HTL, verfügt über grosse Erfahrung bei Planung, Bau und Betrieb von Fotovoltaikanlagen. Nach den Tätigkeiten bei Elektrowatt, Alpha Real und Enecolo arbeitet er nun seit mehr als drei Jahren bei Basler & Hofmann AG. Dazu gehört das Mandat von Swissolar zur Leitung des TK 82 für die PV-Normen. Zusätzlich ist er seit der Gründung im Verwaltungsrat der Edisun Power Europe AG, einem bedeutenden Solarstromcontractor in der Schweiz.

Basler & Hofmann AG, 8032 Zürich
peter.toggweiler@baslerhofmann.ch