

# Design- und Qualitätsaspekte von Gebäudeintegrierter Photovoltaik (BIPV)

## Zusammenfassung

Das Potential für PV in und auf Gebäuden ist in der Schweiz und wohl auch anderen Ländern sehr gross<sup>1</sup>. So ist gemäss dem schweizerischen Bundesamt für Energie BFE das Solarstrom-Potential in der Schweiz auf Dächern 50TWh, auf Fassaden 15 TWh und auf Infrastrukturbauten 17 TWh<sup>2</sup>. Dies ist mehr als die aktuellen 60TWh Stromverbrauch, von denen ca. 40 TWh aus Wasserkraft und ca. 20 TWh aus AKW's kommen<sup>3</sup>. Letztere sollen ausgeschaltet werden, sobald sie „nicht mehr sicher sind“. Gemäss „Energiestrategie 2050“ von 2011 müssten ca. 20 TWh Solarstrom zugebaut werden. Soll hingegen die „De-karbonisierung“ der Schweiz bis 2050 umgesetzt werden, was unsere Energieministerin Simonetta Sommaruga will, so sind wohl eher 40 TWh (ca. 50 GWp) Solarstrom nötig.

Gibt es für PV-Anlagen auf und in Dächern viele qualitativ genügende Angebote, so sind die Fassadenlösungen noch in der Minderheit. Vom aktuellen Schweizer PV - Markt von knapp 300 MWp sind praktisch alle Anlagen auf Dächern und nur einige hundert kWp in Fassaden<sup>4</sup>. PV Freiflächenanlagen werden in der Schweiz so gut wie keine gebaut.

PV Anlagen in Fassaden sind aufwändiger und technisch heikler als die PV-Dächer<sup>5</sup>. Die Fassaden sind zerklüfteter und haben häufiger Teilbeschattungen. Dies kann gerade in er-tragsmässig interessanten hochalpinen Regionen zu technischen Problemen führen. Da-bei wären PV Fassaden in hochalpinen Lagen speziell interessant durch ihre hohen spezi-fischen Erträge und den hohen Anteil an Winterstrom<sup>6</sup>.

Urs Muntwyler<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Berner Fachhochschule BFH, Photovoltaik Labor (PV LAB)

<sup>1</sup>Jlcoweg 1, CH-3400 Burgdorf, Schweiz

Tel. +4134 426 68 37, Fax +4134 426 68 13,

[urs.muntwyler@bfh.ch](mailto:urs.muntwyler@bfh.ch)

[www.pvtest.ch](http://www.pvtest.ch)

## Einleitung

PV Fassaden gewinnen bei Gebäuden, die höher als 3 Etagen sind an Bedeutung. Dies weil die Fassadenfläche im Vergleich zur Dachfläche zunimmt<sup>7</sup>. Sollen Energieziele wie „Plushaus“ etc. erreicht werden, so wird die PV Fassade zur bevorzugten Lösung. Auch bei einer Erhöhung des Eigenverbrauchs bringt ein Solarbalkon oder noch besser eine Solarfassade eine oft günstigere Lösung als ein PV - Speicher. In der Schweiz ist dies auch erwünscht für die Winterstrom-Produktion.

Das PV Modul wird nun aber zum Fassadenbestandteil, was neue Anforderungen an die Statik, die Brandfestigkeit, die Temperaturbeständigkeit des PV Moduls und die Betriebsweise der Elektronik (BOS) stellt. Dazu ist die Ersatzteilkhaltung ungleich anspruchsvoller. Weiter stellen sich Fragen des Unterhalts, der Alterung, der Wartung und der Ausser-betriebssetzung einer PV Fassade.

Keywords: Solarhaut, PV Fassade, PV Balkon, BOS, BIPV/ BOPV

## Von PV Fassaden und-Dächern zur Solarhaut

An PV Anlagen auf Dächern hat man sich mittlerweile gewöhnt. Der Markt bietet eine Vielzahl von konstruktiven Lösungen für Dächer mit Flachdächern, Ziegel-, Eternit-, Blechfalzdächern etc. für kleine und grosse Schneelasten an. PV Indach-Lösungen sind bereits seltener, auch wenn der „Solarziegel“ seit über 30 Jahren immer wieder in neuen Formen auftaucht. Diese Lösungen sind komplizierte und bedingen oft Spezialmodule, welche preislich deutlich über Standardlösungen liegen. Dafür sind Integrationslösungen möglich, mit denen auch an denkmalgeschützten Objekten schöne Lösungen möglich sind. Bei Indach-Anlagen sind die Anforderungen an die Technik bedeutend höher als bei Aufdach-Anlagen. So können „Kreuzverbindungen“ von PV Steckern bei „Indach - Anlagen“ zu einem Brand führen, was bei Aufdach-Anlagen kaum der Fall ist<sup>8</sup>. Im Brandfall kann eine Indach-PV-Anlage „Silizium-Fragmente“ verteilen, was bei Aufdach-Anlagen sehr selten ist<sup>9</sup>.

Für Architekten sind PV Fassaden und –Dächer eine grosse Herausforderung. Sie werden durch die standardisierten PV Elemente im Entwurf eingeschränkt. Negieren sie die Einschränkung und „modellieren“ eigentliche „Solarhäute“ bestehend aus PV Dach- und Fassaden-teilen verschiedenster Neigungen, so hat der PV Ingenieur ordentlich zu tun. Mehrkosten und technisch suboptimale Lösungen sind die Folge.

## Erträge von PV Fassaden und -Balkonen

Der Ertrag von PV Fassaden liegt unter dem von Dachflächen. Deshalb wurden und werden aus Kostengründen oft nur die Südseiten mit einer PV Fassade bedeckt. Eine Südfassade bringt ca. 70% des Ertrages einer Dachanlage und einen höheren Winterertrag. Eine „Solarhaut“ besteht aber aus vier Seiten. PV Module sind heute so günstig, dass auch die drei weniger besonnten Ost-/ West- (ca. 50% Ertrag einer Dachanlage) und Nordseiten (ca. 20 % Ertrag einer Dachanlage) belegt werden können. Das gibt einen hohen Ertrag über den Tagesverlauf und korrespondiert gut mit dem Verbrauch. Ein solches Beispiel sind die zwei Hochhäuser in der Zürcher „Sihlweid“, auf die noch näher eingegangen wird.



Solar-Balkon in Bellwald (VS/ Schweiz) –  
Photo: Ruedi Lehmann (Bellwald)



PV Fassade Jungfrauoch des PV Labors  
von 1993 – bis 1'500 kWh/ kWp Ertrag

Ein besonders interessanter Fall sind Balkone. Diese sind tendenziell auf der Ost-Süd- und Westseite. Sie bieten eine schöne Fläche für spezielle PV Module, welche die statischen Anforderungen für Balkone erfüllen. Die Stromproduktion ist im Winter höher durch die vertikale Anordnung. In der Schweiz geht man davon aus, dass es eine „Winterstrom-Lücke“ gibt<sup>10</sup>. Da Windenergie eine sehr tiefe Akzeptanz hat, ist die Photovoltaik auch hier gefordert<sup>11</sup>. PV - Fassaden und vor allem –Balkone sind besonders in höheren Lagen sehr attraktiv. Hier sind viele Schräg-Dächer Ost-West ausgerichtet, was

grosse Balkone in Ost-Süd- und West-Richtung zur Folge hat. Der PV Stromertrag ist dann im Winter überdurchschnittlich gut, da die Balkone vertikal sind, die Temperaturen tief und oft ein hoher Albedo-Wert durch den Schnee verzeichnet wird. Findige Metallbauer haben das als Markt für sich entdeckt und bieten solche Lösungen an, u.a. im Oberwallis. PV in hochalpinen Lagen sind allerdings kein „Wunderlösung“ für Winterstrom. Zwar werden bis 1'500 kWh/ kWp erzielt. Diesen Ertrag erzielen wir immer wieder in unseren PV Fassadenanlagen von 1993 und 2014 auf dem Jungfrauoch auf ca. 3'500 m. ü. Meer. Dabei kann der Winterertrag bis 50% des Jahresertrags betragen. Der Aufwand solche Anlagen zu bauen, ist aber mit hohen Baukosten verbunden. Dazu gibt es nur wenige geeignete Standorte mit vorhandener Infrastruktur.

Vertikale Flächen bringen ein besseres Kosten-Nutzenverhältnis als viele PV Speichersysteme. PV Speichersysteme sind in der Schweiz nicht subventioniert, so dass der Anreiz etwas weniger gross ist, solche Systeme zu installieren. Der Schweizer PV Speichersmarkt läuft dem deutschen Markt hinterher.

### **Politiker und Architekten spielen mit der Optik**

PV Fassaden eignen sich gut um visuelle Aufmerksamkeit zu erreichen. Um den Bürgerinnen der Stadt Lausanne die Photovoltaik näher zu bringen, liess der technische Direktor Daniel Brélaz (grüner Politiker und späterer Stadtpräsident) optisch auffällige PV Anlagen bauen. So wurde die erste PV Anlagen auf einem Fussballstadium in der Stadt Lausanne gebaut. Eine der ersten PV Fassaden wurde in der Stadt Lausanne wurde vor 20 Jahren mit 2 x 16 SX 240 Lamine von Solarex (USA) ausgeführt<sup>12</sup>. Das Gebäude beherbergte während der Landesausstellung Expo 64 Büros der Ausstellung und ist heute ein Wohnheim für Studierende. Die PV Fassade wurde im Rahmen einer Sanierung 1999 installiert. Die PV Module speisten anfänglich direkt ins Trolleybus-Netz. Später wurde die Anlage auf eine netzgekoppelte PV Anlage umgebaut.



PV Fassade an der avenue de Rhodanie 64 in Lausanne mit 7'680 Wp (1999)



Englische Botschaft in Bern – keine Fassade aber 14 kWp PV (2008)

Ebenfalls eine PV - Fassade sollte an der Fassade der englischen Botschaft in Bern angebracht werden. Die Engländer investierten in CO<sub>2</sub>-freie Technologien und wollten analog der US-Gesandtschaft an der UNO in Genf eine PV Fassade. Weil das Gebäude, ein Normschulhaus aus den 60-er Jahren, aber nicht so geeignet war, haben wir eine PV Anlage sichtbar an der Balustrade auf dem Dach installiert.

PV Anlagen mit optischer Wirkung sieht man auf vielen Bergstationen und Bergbahnen in der Schweiz. Diese Anlagen haben neben der optischen Wirkung auch hohe Produktions-

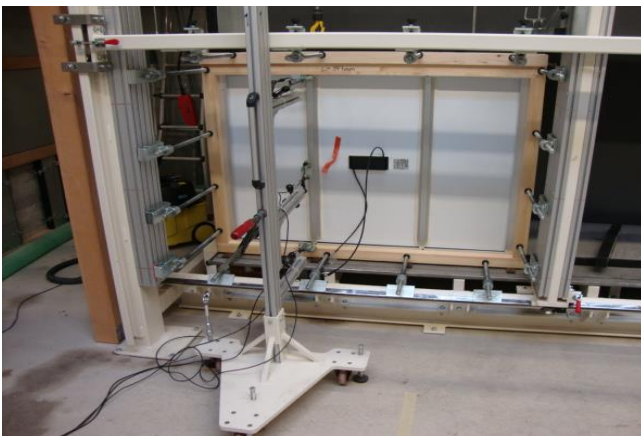


zahlen. So produziert die PV Anlage auf der Bergbahn Muottas Muragl im Engadin bis 1'600 kWh/ kWp.

## Zwei 60 m hohe Hochhäuser in der Zürcher Sihlweid (2011/ 2012)

In Zürich plante die „Baugenossenschaft Zurlinden (BGZ)“ 2010 die Sanierung von zwei 60 m hohen Wohntürmen, welche sie von einer Immobilien-Gesellschaft übernahmen. Die Gebäude sollten im vermieteten Zustand total saniert werden. Energetisch galt es die in Zürich geforderte „2'000 Watt-Regel“ zu erreichen. Dies bedingte eine Stromproduktion von ca. 50'000 kWh. Dies sollte ohne Subvention erreicht werden. In der Evaluation schwang die PV Fassade oben aus. Dabei sollten alle vier Seiten des Gebäudes mit PV Modulen belegt werden, sofern das wirtschaftlich erreicht werden konnte. In den Berechnungen zeigte es sich, dass die von der Fläche besonders günstige Nordseite (wenig Fenster, wenig Balkone) kritisch ist. Die Lösung war dann, die DC - Nennleistung der PV Module um das 5-fache über zu dimensionieren. Der Wechselrichter-Hersteller unterstützte dieses Design nicht. Mit etwas Überlegung und einer Messung wagten wir dies trotzdem. Damit waren die WR-Preise 5-mal „günstiger“ und auch die Nordseite war rentabel.

Die Windlast-Berechnungen ergaben für die obersten Kanten des Gebäudes Windlasten von 3'000N/m<sup>2</sup>. Aus Kostengründen wurden 2010 mikromorphe Tandem-Module gewählt. Dies ergab einen tiefen Quadratmeter-Preis von ca. 100 €/m<sup>2</sup> für das PV Modul. – Heutzutage liegt man auch mit kristallinen PV Modulen weit unter diesem Wert. Das gewählte Modul Sharp NA 128 hat eine Windlast von 2'500N/m<sup>2</sup>. Weil das Modul aber zwei Verstärkungen hat, die nicht im Datenblatt aufgeführt waren, bin ich davon ausgegangen, dass das Modul viel stabiler ist. Diese Vermutung wurde mit dynamischen und statischen Tests beim Fenster-/ Fassaden-Prüfstand der Berner Fachhochschule AHB in Biel überprüft. Das Modul zerbrach bei 12'000N/m<sup>2</sup>.



NA 128 im dynamischen Festigkeitstest



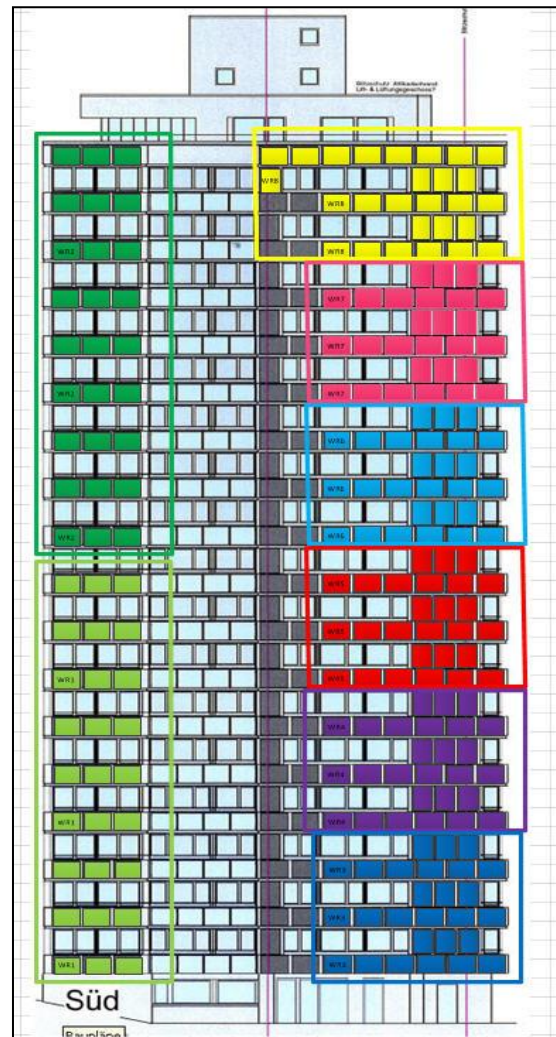
Planung und Vorbereitung Projekt „Sihlweid“:



Detaillösungen wurden am 1:1 Modell getestet!



Sihlweidstrasse 1 mit PV Fassade (2011)

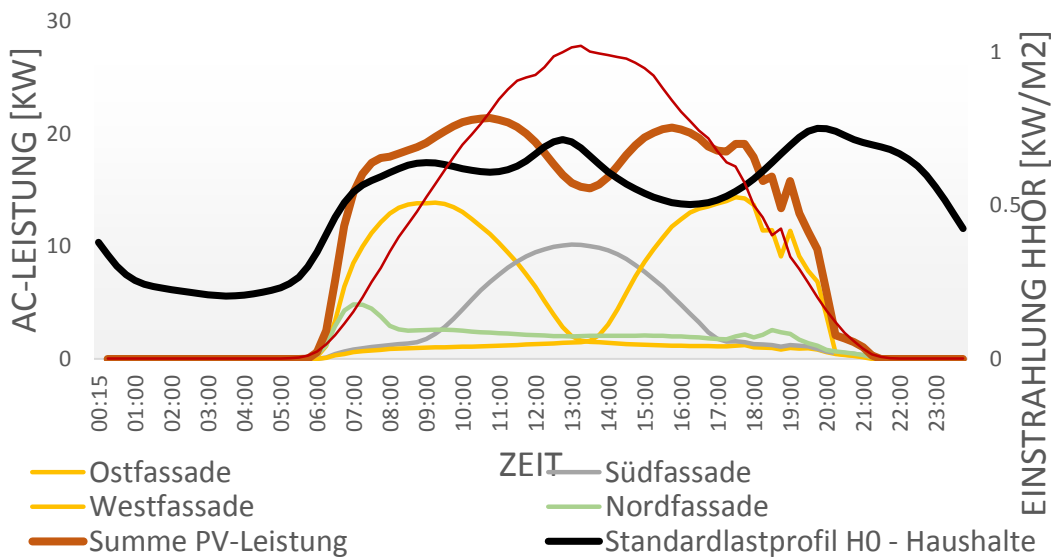


WR-Auslegung Südseite

Diskutiert wurde die Platzierung der Wechselrichter. Die BGZ verlangte eine zentrale Anordnung ausserhalb der Wohnungen, so dass im Wartungsfall kein Mieter „belästigt“ werden muss. Die Wechselrichter befinden sich deshalb im Sockelbereich des Hauses. Mit den Vorgaben für die Wechselrichter-Platzierung errechneten die Studierenden den Energieertrag und verschiedene Verdrahtungskonzepte für die Wechselrichter.

Zusammen mit Sharp-Europe und Sharp PV Ingenieuren aus Japan wurde die Verdrahtung diskutiert. Dabei half wesentlich die BSc-Diplomarbeit zweier Studierender des Elektrotechnik-Studienganges. Sie untersuchten die Teilbeschattungen durch Nachbargebäude, Balkone und Bäume im Sockelbereich. So gibt es bei diesem Modultyp „nicht erlaubte“ Teilbeschattungsfälle. Wo diese auftreten, sind die PV Module nicht angeschlossen, um „Delaminationen“ zu vermeiden. Für die Wechselrichter wurden galvanisch getrennte Geräte gefordert, was mit Fronius IG Plus gut erreicht wurde. Da eine der Studierenden eine Berufslehre als Elektrozeichnerin hatte, wurden überaus akkurate Verdrahtungspläne erstellt, die dann auch ausgeführt wurden. Die anspruchsvolle Montage wurde per Ausschreibung an die bekannte örtliche Fassaden- und Solarfirma Ernst Schweizer AG vergeben. Die elektrischen Installationen wurde von der Elektrofirma „Müller+Kälin AG“ der BGZ gemacht.

Insgesamt wurden 882 PV Module mit 128 Wp mit 112'896 Wp verbaut. Davon sind aber 36 Module nicht verdrahtet, womit elektrisch 108,3 kWp angeschlossen sind.



Der Energieertrag zeigt eine breite Verteilung über den gesamten Tag und entspricht annähernd der Verbraucherkurve eines CH-Haushaltes (HO).

Nach der Sihlweidstrasse 1 wurde im darauffolgenden Jahr die Leimbachstrasse 215 mit einer noch etwas grösseren Anlage und bereits 25% günstigeren Modulen ausgerüstet.

Wie würde man diese Anlage heute bauen? Heute könnte eine solche Anlage mit kristallinen PV Modulen zu weit günstigeren Preisen und fast doppelt so hohem Ertrag realisiert werden. Preislich würden sich wohl auch Spezial-Fassadenmodule rechtfertigen, die einfacher und günstiger montiert werden können. – Schlüssel der Realisierung der Projekte in der Zürcher Sihlweid war die gute Zusammenarbeit der am Bau aktiven Gewerke, unter der Führung der Fachleute der Baugenossenschaft Zurlinden (BGZ).

### **BOPV Building oriented PV – SAC Hütte Monte Rosa (2009)**

Die Gebäudeform hat grossen Einfluss auf den Ertrag und sollte vorher geplant werden. Dies wurde bei der bekannten neuen Berghütte „Monte Rosa“ (2'900 m.ü. Meer) des Schweizerischen Alpenclubs SAC nicht gemacht. In der spektakulären Gebäudeform wurde eine 70 Grad geneigte und von einem Fensterband durchzogenen Fassade für die PV-Produktion vorgesehen. Gelöst wurde das mit einer Vielzahl von unterschiedlichen PV-Modulen basierend auf 5 Zoll-Solarzellen von Sunpower. Aus statischen Gründen (Windlast 240 km/ h) wurden 2 x 6 mm Glas-Glasmodule gebaut. Der lokale Elektriker verkabelte die PV Module mit konventionellen Kabeln. Durch die starke UV-Strahlung mussten die Kabel getauscht werden. Spezialmodule sehe ich kritisch, da neben den Kosten, im Servicefall der Ersatz Schwierigkeiten bereiten könnte. Dies war denn auch bereits im ersten Betriebsjahr 2010 der Fall, als ein Helikopter mit dem Rotor die untersten PV Module touchierte. Der Schaden an der PV Anlage war erheblich, der Helikopter Totalschaden. Weil sowohl der Zellen-Lieferant, wie auch der Produktionsbetrieb noch verfügbar waren, konnten Ersatzmodule produziert werden.

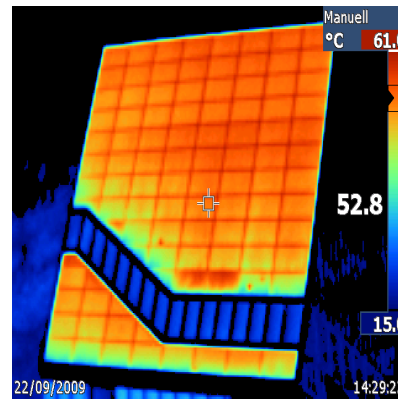
Weil die SAC Hütte primär von Mitte Juni bis September im Betrieb ist, bringt die steile Fassade keinen Mehrertrag in der Betriebsperiode. Die Anlage ist nicht an das Stromnetz



angeschlossen und hat eine Batterie mit 48 VDC und 6'000 Ah Kapazität. Weil die Beleuchtung zu konservativ geschätzt wurde (die Hütte ist ein „Renner“), ist der Energieverbrauch viel höher und nachträglich wurden weitere PV Module neben der Hütte in die Felswand montiert.

Heikel bei solchen Standorten ist auch der Blitzschutz. Die mangelnden Möglichkeiten für eine gute Erdung machen den äusseren und inneren Blitzschutz sehr anspruchsvoll<sup>13</sup>.

Bereits vor der Eröffnung im Herbst 2009 wurde klar, dass die Hinterlüftung der PV Fassade ungenügend ist. Das führt zu einer Erwärmung der Module, die Leistung und die Spannung sinken. Letzteres ist hier kritisch, weil aufgrund des inneren Blitzschutzes wenig Spannungsdifferenz zur Eingangsspannung der MPT vorhanden war. Die Erwärmung kann hier kritische Werte für die Holzkonstruktion und die Erwärmung der Bypass-Dioden führen.



Ersatzmodule nötig: Helikopter beschädigt PV Fassade

Unzureichende Hinterlüftung führt zu hohen PV Modultemperaturen

Für solch anspruchsvolle Gebäudeformen sollten die PV Planer bei der Planung der Gebäudeform einbezogen werden. Weil es eine „off-grid“ – Anlage ist, sollten man eine Plan „B“ haben, wenn der Energieverbrauch nicht den Planungswerten entspricht.

### „Unsichtbare“ PV Fassaden

Im Trend sind in der Schweiz „unsichtbare PV Fassaden“. Dazu werden farbige PV Module verwendet. Diese Module bieten die ganze Farbpalette von „Schneeweiss“ (50% Leistung eines Standardmoduls) bis zu dunklen Farben. Die PV Fassaden sind für Laien nicht mehr als PV Elemente zu erkennen. Ein solch neueres Beispiel ist das Plusenergiehaus Seewaldstrasse in Affoltern am Albis bei Zürich von Ernst Schweizer AG.



Dunklere Nordwestfassade mit weniger Ertrag (ca. 50%)



2-farbige Fassade mit grauen Modulen (70% Ertrag) und PV Dachanlage

Das Minergie-P-Eco MFH mit 14 Wohnungen wurde vom Architekturbüro Viriden+Partner AG geplant und 2019 fertiggestellt. Die gewichtete Energiekennzahl nach Minergie ist 20,9 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr. Die Dach PV Anlage hat einen Jahresertrag von 31'000 kWh/ Jahr. Die aktive Fassadenfläche ist 690 m<sup>2</sup> und soll 25'000 kWh/ Jahr produzieren. Für grössere Plusenergie-Häuser, wie es MFH's sind, sind PV Fassadenanlagen unverzichtbar<sup>14</sup>.

### **Solarhaut und deren Unterkonstruktion sollte beständig und stabil sein**

Die „Solarhaut“ und deren Unterkonstruktion und Komponenten der PV Anlagen müssen langzeitbeständig sein. Es muss überlegt werden, wie Service und Wartung gemacht werden kann. Der elektronische Teil der Balance Of Systems (BOS), wie „Optimizer“ in Fassadenkonstruktionen ist bezüglich Lebensdauer eine Herausforderung. Die Verkabelung und die PV – Stecker sind im Hinblick auf die Brandsicherheit zu planen. So haben wir verschiedentlich „Kreuzverbund“-Stecker aus Indach- und Fassadenanlagen angetroffen, die verbrannt waren<sup>15</sup>. Dies kann in solchen Situationen fatal enden. Die PV Stecker müssen die Belastungen in der Fassade ertragen: (Ströme/ Temperaturen/ Feuchtigkeit/ mechanische Belastung). Dies ist speziell bei alpinen PV Anlagen der Fall, wo die Einstrahlung Werte von weit über 1'000 W/m<sup>2</sup> erreichen kann. Hier muss die Eignung von PV Standardkomponenten überprüft werden.

Ob die farbigen PV Module ihre Farbe über die lange Lebensdauer halten, ist noch offen. Man sollte sich überlegen, wie defekte Module ersetzt werden können. Der Mix von unterschiedlich ausgerichteten PV Fassadenteilen, PV Spezialelementen, mechanischer Befestigung und dem BOS Aufwand sollte sorgfältig optimiert werden. Sonst könnte die PV Fassade ein kurzes unrühmliches Ende finden und muss ersetzt werden.

### **Solarhaut bedingt spezielle Balance of Systems BOS**

Beliebt bei Architekten sind Flächen mit unterschiedlicher Ausrichtung (SWATCH-Gebäude Biel von Shigeru Ban 2019/ Haus „Solaris“ Wollishofen/ Zürich 2018 von Huggenberger Fries), dies im Gegensatz zum PV Planer. Die unterschiedlichen Ausrichtungen können „Mismatch-Verluste“ ergeben. Ob der Einbau von „Optimizern“ die Lösung des Problems ist, bleibt abzuwarten. Lebensdauern von über 20 Jahren sind für thermisch belastete Elemente der Leistungselektronik doch eher anspruchsvoll.

### **In der Solarhaut ist die Brandsicherheit noch wichtiger**

In der Solarhaut, sei es Dach oder Fassaden ist die Brandsicherheit noch wichtiger als bei Aufdach-Anlagen. Beispiele wie in Holland, wo eine grössere Zahl von Indach-Anlagen abgebrannt ist, sollten uns eine Warnung sein. Es wird vermutet, dass primär Kreuzverbindungen die Brandursache sind<sup>16</sup>.

In der Schweiz gibt es für Fassaden die VKF (Verband kantonaler Feuerwehr) Brandschutzvorschriften 2015 zu erfüllen: „Dabei müssen die Fassaden von Hochhäusern aus nichtbrennbarem Material bestehen (RF 1). Durch die Verwendung von PV Elementen mit den zugehörigen Modulen und elektrischen Verkabelungen kann die Forderung nach nichtbrennbaren Materialien in der Fassaden nicht vollständig eingehalten werden“<sup>17</sup>. Im Einzelfall ist es ratsam, direkt mit der zuständigen Bewilligungsbehörde Kontakt aufzunehmen. In der Schweiz dürfte das je nach Kanton gewisse Abweichungen geben.



## **Blitzschutz ist eine Herausforderung**

Bei exponierten Gebäuden, wie der neuen SAC Hütte Monte Rosa, ist der innere und äussere Blitzschutz eine grosse Herausforderung. Im Design der Anlage war das die grösste Herausforderung<sup>18</sup>. Der Beizug eines erfahrenen Blitzschutz-Experten ist anzuraten.

## **Wie stirbt die Solarhaut?**

Wie jedes technische System ist auch die Lebensdauer der PV Solarhaut endlich. Ob die Lebensdauer eher 25, 40 Jahre oder darunter liegt, wird der Einzelfall zeigen<sup>19</sup>. Unsere PV Fassade auf dem Jungfraujoch auf 3'000m ü. M. ist nun schon 27 Jahre alt und hat eine Solarstrahlung entsprechend 40 Jahren erhalten. Das ist aber keine Garantie für weitere Objekte. Es muss daher ein Konzept für die Überwachung der Solarhaut erstellt werden, das alle Aspekte umfasst. Das sind einerseits die elektrische Überwachung, der Energieertrag, das thermische Verhalten (IR-Aufnahme), die mechanische Stabilität und die Qualität der elektrischen Verbindungen und Verbinder.

Ein noch einfacher Fall ist, dass die mechanische Stabilität abgesprochen wird und die PV Solarhaut demontiert werden muss. Dies dürfte speziell bei Indach-Anlagen wie „Solarziegeln“ etc. vorkommen. Solche Fälle sind uns schon verschiedentlich untergekommen.

Was aber wenn einzelne PV Module oder „Optimizer“ ausfallen? Man wird wohl kaum einen Pneukran bestellen, um einzelne PV Fassadenmodule oder „Optimizer“ zu ersetzen. Vielmehr wird man abwarten und allenfalls viel später eine Sanierung einleiten. In der Zwischenzeit ist dann der Ertrag nicht mehr wie geplant. Es fragt sich dann, wie ein allfälliges Energiezertifikat und eine eventuell damit zusammenhängende Subvention behandelt werden muss?

Man sollte sich also ein Ausserbetriebssetzungs-Konzept der PV Fassade überlegen. Denn anders als bei einer Aufdach-Anlage gibt es gerade bei einer Fassadenanlage eine Menge zu planen, wenn eine Wartung oder ein Ersatz anstehen.

## **Resultate und Ausblick**

Der Autor befasst sich seit über 30 Jahren mit PV Fassaden. Mit den neuen günstigen kristallinen PV Modulen können umlaufende Fassaden günstig realisiert werden. Dies ermöglicht es, Hochhäuser mit hohem PV Ertrag zu bauen. In der Zusammenarbeit zwischen PV - Ingenieuren und Architekten sind noch Verbesserungen nötig, um günstige und langlebige PV- Fassaden und –Dächer alltäglich zu machen.

## **Danksagung**

Dieses Projekt wird im Rahmen des «Swiss Centre for Competence in Energy Research on the Future Swiss Electrical Infrastructure» (SCCER-FURIES) durchgeführt. Wir bedanken uns ebenfalls für die Unterstützung (Finanzen, Infrastruktur, Personal) der Berner Fachhochschule BFE und der Gebäudeversicherung des Kantons Bern GVB.

---

<sup>1</sup> BFE Studie, 15.4. 2019, SSES

<sup>2</sup> BFE Studie, 15.4. 2019, solarserver.ch

<sup>3</sup> Energiestatistik Schweiz, BFE CH, Energiefachbuch Schweiz 2020

<sup>4</sup> Markterhebung Sonnenenergie 2018, Juli 2019 und PV Labor BFH interne Studie 2019

<sup>5</sup> Christian Renken/ Urs Muntwyler; Herausforderungen in Planungs- und Umsetzungsprozessen von PV Gebäudehüllen; PV Konferenz Staffelstein (D), 2015

- 
- <sup>6</sup> Heinrich Häberlin et. al., Hohe Leistung auch im Winter, Sonnenenergie&Wärmetechnik 4/ 94
- <sup>7</sup> Steiger/ Walther, BSc-Diplomarbeit, MFH Heitenried, BFH-TI, 2018
- <sup>8</sup> Urs, Muntwyler, NEW FINDINGS IN FIRE PREVENTION AND FIRE FIGHTING OF PV INSTALLATIONS, 32. EUPVSEC, 2016 Munich
- <sup>9</sup> Urs Muntwyler et. al, Neue Erkenntnisse in der Brandprävention und Brandbekämpfung von PV Anlagen, PV Konferenz Staffelstein 2016
- <sup>10</sup> Urs Muntwyler et. al., PHOTOVOLTAIC (PV) WINTER ELECTRICITY IN THE SWISS ENERGY STRATEGY 2050, EUPVSEC 2019
- <sup>11</sup> Urs Muntwyler et. Al., PV and Snow: Maximierung des Winterertrags von PV Anlagen, PV Konferenz Staffelstein 2019 und:  
Urs Muntwyler et. al., PHOTOVOLTAIC (PV) WINTER ELECTRICITY IN THE SWISS ENERGY STRATEGY 2050, EUPVSEC 2019
- <sup>12</sup> Urs Muntwyler, Muntwylers SolarHandbuch 11. Auflage 2001, S. 76/ 335, Solarcenter Muntwyler AG, Zollikofen Schweiz
- <sup>13</sup> Urs Muntwyler, Muntwylers SolarHandbuch 12. Auflage, 2011, S. 206ff., Soalrcenter Muntwyler AG, Zollikofen Schweiz
- <sup>14</sup> Energiefachbuch Schweiz 2020
- <sup>15</sup> Urs Muntwyler et. al., PV CONNECTORS A CRUCIAL PART OF THE RELIABILITY OF PV INSTALLATIONS – COMPUTER-TOMOGRAPHY (CT) AS A PROMISING METHOD TO DETECT CROSS CONNECTIONS OF PV CONNECTORS, EUPVSEC 2019
- <sup>16</sup> E.E. Bende/ N.J.J: Dekker, Brandincidenten met fotovoltaische (PV) systemen in Nederland. Een inventarisatie; TNO-rapport, 22.2. 2019
- <sup>17</sup> Ausnahmeantrag Photovoltaik-Fassade, Bernische Gebäude-Versicherung GVB 2020
- <sup>18</sup> Urs Muntwyler, Muntwyler SolarHandbuch 12. Auflage 2011, S. 206ff, Bezug: beim Verfasser
- <sup>19</sup> Urs Muntwyler et. al, Anforderungen an PV – Komponenten für die Gebäudeintegration, 8. Forum Bauwerksintegrierte Photovoltaik, Staffelstein (D), 2015