



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und
Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Cleantech

Jahresbericht vom 4 Juli 2016

PV-Gebäudehülle mit warmem Erscheinungsbild im Wohnquartier



© Rene Schmid 2016



Basler & Hofmann

Datum: 4 Juli 2016

Ort: Zürich

Subventionsgeberin:

Schweizerische Eidgenossenschaft, handelnd durch das
Bundesamt für Energie BFE
Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprogramm
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Subventionsempfänger:

Umweltarena AG
Türliackerstrasse 4, 8957 Spreitenbach
www.umweltarena.ch

vertreten durch

Basler & Hofmann AG
Forchstrasse 395, 8032 Zürich
www.baslerhofmann.ch

Autoren:

Eric Langenskiöld, Basler & Hofmann AG , Eric.Langenskiold@baslerhofmann.ch

BFE-Programmleitung: Yasmine Calisesi, Yasmine.Calisesi@bfe.admin.ch

BFE-Projektbegleitung: Stefan Nowak, Stefan.nowak@netenergy.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/501252-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	3
ABSTRACT	4
1. Projektziele.....	5
2. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse.....	6
3. Evaluation Oberflächenbehandlung.....	6
4. Ertrag	7
5. Befestigung und Statik	7
6. IEC 61646/61730-2 Test.....	9
7. Schlagschatten.....	10
8. Bau.....	11
9. Weitere Erkenntnisse.....	12
10. Aussicht.....	12



ABSTRACT

This project demonstrates a way of treatment of low price PV modules by sandblasting and coating. The treatment converts the shiny black PV-modules into anthracite and mat elements with a soft appearance. The modules are installed on the facade of a 100% energy autarkical multi-family house. The house has neither a grid nor a gas connection. The energy supply of the house¹ comes only from its PV facade and its PV roof and provides normal comfort for the habitants. For the PV facade more than half of the amorphous silicon modules are cut to size at the manufacturer. The special size modules appear without any optical difference compared to normal size modules. The modules were delivered to a Swiss company for sandblasting and coating. For the mounting, the installer glued rails onto the modules backside.

The findings in the project can be summarized as following

- Laboratory tests show, that the influence of the surface treatment to the modules energy yield can be neglected. Real outdoor tests on the roof of CSTB and on the building are running.
- A low cost mounting structure without visible support hocks were developed and applied.
- As a result of a risk analysis, the resistance of the sandblasted modules against cast shadow effects has been examined in detail.
- The applied hydrophobic coating causes in the beginning some changes of colours depending on the viewer's angel. The effect gives the facade an active and vintage kind of appearance. The effect will disappear after some month
- The tailor made special size modules are at low cost. But its long delivery time leads to costs for planning and measuring. The order of spare pat modules is cumbersome.

¹ The house is a project of Umwelt Arena Spreitenbach, where also all the applied energy concepts are explained in a exposition



1. Projektziele

Folgende Ziele wurden definiert:

- _ PV-Fassaden sind heute Nischenanwendungen. In diesem Projekt wird die Überwindung von zwei Haupthürden für die Breitenanwendung von PV-Fassaden demonstriert. Dies sind a) Wirtschaftlichkeit und b) architektonische Akzeptanz von Glasfassaden in Wohnsiedlungen.
- _ Pilotierung eines neuen Verfahrens zur optischen Aufwertung durch Sandstrahlen und Beschichten von kostengünstigen Standard-Dachmodulen. Dadurch werden die Module gräulich und matt.
- _ Lösen des Reflexions-Problems mit der einhergehenden Blendwirkung bei PV-Fassaden, welche während Bewilligungsverfahren zu Unsicherheiten führen und das Risiko von nachbarschaftlichen Einsprachen bergen. Weiter wird dem Vogelschutz Rechnung getragen.
- _ Kostengünstige Ertüchtigung von Dachmodulen für Fassadenanwendungen und kostengünstige Planungs- und Montageprozesse.
- _ Aufzeigen, dass die Kosten von PV-Strom aus der Fassade auf dem Niveau von PV-Strom vom Dach liegen kann. Dabei können die Kosten einer normalen Fassade in Abzug gebracht werden.

Zudem möchte die Bauherrschaft an dieser Stelle die Projektziele des gesamten Bauprojektes erwähnen:

Das Projekt der Umwelt Arena Spreitenbach zeigt, dass die Umsetzung der Energiestrategie 2050 bereits heute möglich ist, wenn die vorhandenen Technologien und das Knowhow konsequent genutzt und intelligent kombiniert werden. Dazu gehört, dass sich alle Komponenten wie Gebäudehülle, Gebäudetechnik und Energiekonzept technisch auf dem höchsten Niveau bewegen und die energieeffizientesten Küchen- und Haushaltsgeräte (A+++) eingesetzt werden. So wird der heute durchschnittliche Verbrauch von 4400 kWh pro Wohnung und Jahr auf 2200 kWh/Wohnung/Jahr halbiert, ohne dass die Bewohner Komforteinbussen in Kauf nehmen müssen.

- _ Damit die innovativen Lösungen, die es zur Realisation eines komplett energieautarken Mehrfamilienhauses braucht, einer breiten Öffentlichkeit zugänglich sind, hat die Umwelt Arena Spreitenbach zusammen mit den beteiligten Fachpartnern und der Unterstützung von EnergieSchweiz insgesamt 17 Fachbroschüren zum Thema produziert. Die Broschüren können im Internet über die Website der Umwelt Arena oder als Printausgaben direkt in der Umwelt Arena Spreitenbach bezogen werden.
- _ Zudem zeigt die Ausstellung „Energieautarkes Mehrfamilienhaus“ in der Umwelt Arena Spreitenbach anhand eines Grossmodells den technischen Aufbau und die angewandten Lösungen. Themenführungen durch die Ausstellung mit Fokus auf das Projekt „Energieautarkes Mehrfamilienhaus“ sind buchbar für Gruppen über fuehrungen@umweltarena.ch, Tel. +41 56 418 13 10.



2. Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Das Projekt wurde planmässig umgesetzt. Im Mai 2016 finden die Abnahmen statt und die offizielle Eröffnungsfeier ist im Juni 2016. Danach werden die 9 Wohnungen von Mietern bezogen



Abb. 1 Visualisierung Projektierung (Quelle: Rene Schmid Architekten)



Abb. 2 Bild der Baustelle Ende März 2016 (Quelle: Basler & Hofmann AG)

3. Evaluation Oberflächenbehandlung



Abb. 3 Bemusterung bei der Evaluation der Oberflächenbehandlung (Quelle: Basler & Hofmann AG)



Module wurden in unterschiedlichen Intensitäten sandgestrahlt und mit der hydrophobischen Beschichtungen versehen und danach mit konventionellen Fassadenmodulen verglichen (im Bild oben z.B. mit CIGS Module mit prismatischem Frontglas)

Durch sandstrahlen werden die schwarzen Module anthrazitfarben und matt. Es sind keine Reflexionen im Glas mehr sichtbar. Erkennbar ist, dass die weisse Folie am Boden (siehe Bild oben) sich im rechten Modul spiegelt, jedoch nicht im linken. Das Sandstrahlen eines vom Fließband kommenden Tiefpreismoduls ist nur möglich, weil die Frontgläser von amorphen Silizium-Dünnschichtmodulen produktionsbedingt aus Floatglas bestehen und nicht wie üblich aus gehärtetem Glas. Das Sandstrahlen wurde von der Schweizer Firma Micro-Finish SA in Villeneuve durchgeführt.

4. Ertrag

CESM hat Module vor und nach der Behandlung gemessen. Es wurden bei den Messungen keine wesentlichen Effizienzverluste festgestellt.

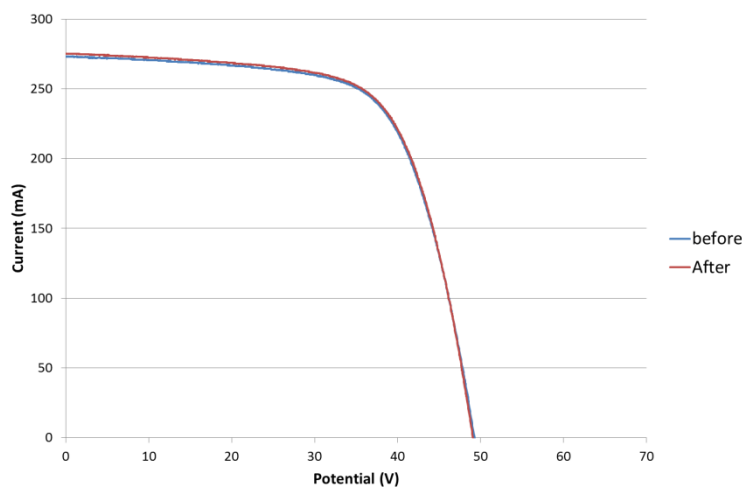


Abb. 4 Strom-Spannungsdiagramm unter STC Bedingungen vor und nach dem Sandstrahlen und Beschichten (Quelle: CSEM)

Die Abweichungen der Ertragsmessungen nach STC lagen unter einem Prozent (3 Stichproben)

5. Befestigung und Statik

Die eingesetzten Module wurden für Dach- und Freiflächen entwickelt. In der Fassade ist der erforderliche Sicherheitsfaktor aufgrund der Personengefährdung durch Überkopfverglasung wesentlich höher als für Freiflächen- und Dachanlagen. Zudem wurden in diesem Projekt die Module durch das Sandstrahlen "geschwächt".

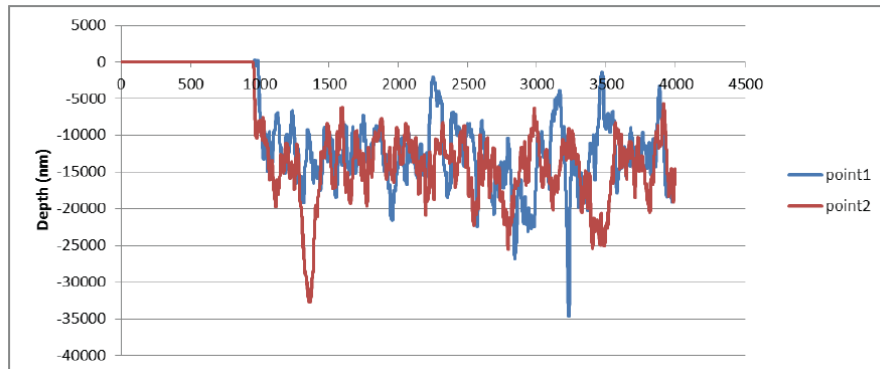


Abb. 5 Messung Oberflächenrauheit von mit 5 bar sandgestraht Glasflächen (Quelle CESM)

Die Oberflächenrauheit beträgt in Schnitt 15 Mikrometer

Einfluss Sandstrahlen auf die Statik der Gläser

Es wurde vermutet, dass durch das Sandstrahlen die mechanische Belastbarkeit der Module abnimmt. Eine erste rudimentäre Einzelstichprobe an einem einfachen Glas hat eine Einbussse von ca. 20 % der Belastbarkeit aufgezeigt.

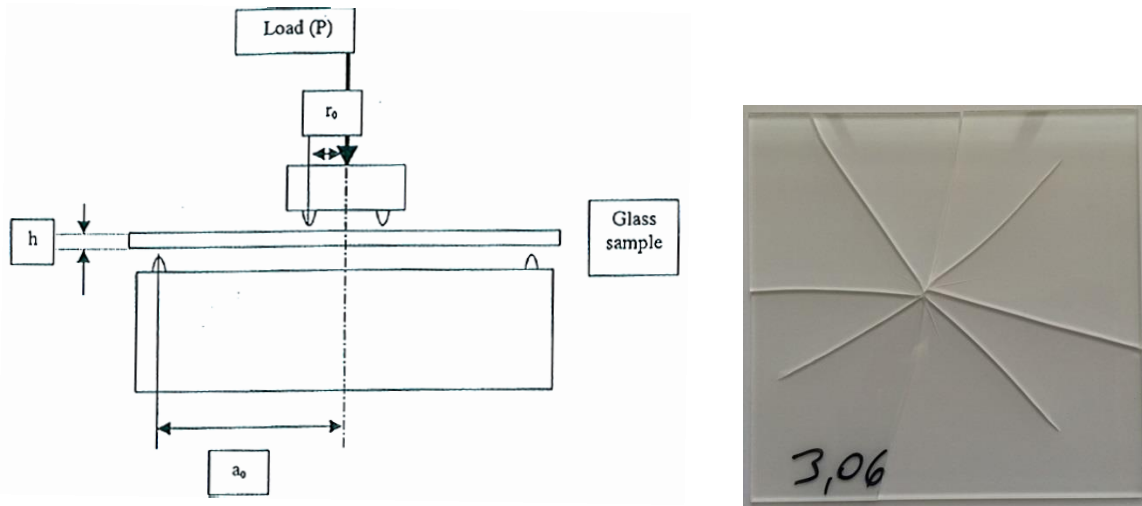


Abb. 6 Doppelringtest: links Aufbau, rechts gebrochenes Glas (Quelle HSLU)

Die Untersuchungen ergaben, dass die mit 5 bar sandgestrahlten 3,2 mm Gläser unter Druck (d.h. sandgestrahlte Fläche nach oben in Abbildung) um 20% schwächer waren (15 Proben).

Neu war die Erkenntnis, dass unter Spannung (d.h. sandgestrahlte Fläche nach unten) die Gläser um 75 % geschwächt wurden (10 Proben). Diese Art von Spannung trifft beim Windsog ein.



Unterkonstruktion

Als Resultat der Doppelringtests wurden die geklebten Befestigungsprofile so dimensioniert, dass alleine das Rückglas die gesamte Windlast tragen kann. Es wurden mehrere Varianten evaluiert, welche über eine positive rechnerische Erstbeurteilung der Statik verfügen. Eine Simulation mit FEM (Finite-Elemente-Methode) wurde durchgeführt.

Als Resultat der grossflächigen Verklebung konnte gemäss der EU Norm auf Rückhalte- und Abrutschhacken verzichtet werden (siehe Bild unten: Type IV). Dies war nur durch die zertifizierten Klebverfahren der Firma E. Schweizer AG und SIKA Schweiz AG möglich.

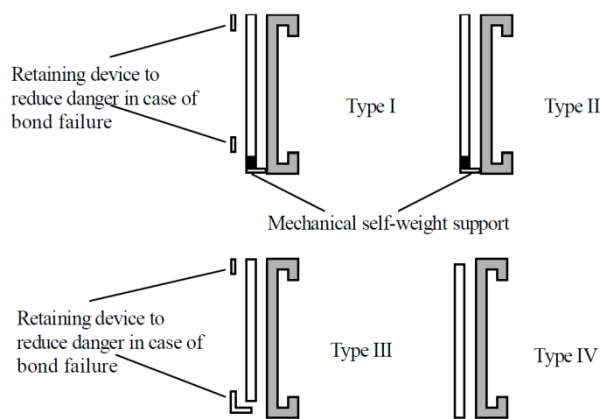


Abb. 7 Konzepte der Glashalterungen (Quelle: Norm Structural Sealant, Glazing Kits (SSGK), ETAG 002)

6. IEC 61646/61730-2 Test

Ein Test nach IEC 61646/61730-2 wurde von SUPSI durchgeführt und dabei folgende Aspekte untersucht.

- _ Elektro-Lumineszenz
- _ Isolation
- _ Performance STC
- _ Resistenz gegen Klima/Feuchte Zyklen
- _ Mechanische Belastung
- _ Hagelwiderstand
- _ Resistenz gegen Spannungsimpulse

Der Test der mechanischen Belastung wurde nicht erfüllt. Jedoch war bei diesem Test die Befestigung des Modules mit Glasklemmen am Modulrand, wie vom Hersteller der Module empfohlen. Der Test ist somit nicht relevant für das vorliegende Projekt, da in Brütten eine für die Belastbarkeit deutlich bessere Befestigungsmethode gewählt wurde.



7. Schlagschatten

Gemäss Auftrag sollten 10 Module bezüglich der erforderlichen Windlasten, 5 Module mit Belastung bis zum Bruch und 5 Module bezüglich Resttragfähigkeit gemessen werden.

Eine Risikobeurteilung mit Einbezug von Dr. Luible (HSLU) und A. Fourchere (B&H, Statik Stahl Gals) ergab eine Neueinschätzung der Risiken. Das Risiko der Überkopfverglasung sank stark, da die gesamte Statik der Module und deren Befestigung so ausgelegt wurden, dass das Rückseitenglas mit genügend Sicherheit die gesamte mechanische Belastung durch Windsog nach SIA aufnehmen kann.

Jedoch wurde ein neues Risiko identifiziert: Schlagschatten, welcher nur einen Teil eines Modules mit einer scharfen Grenze beschattet, während der andere Teil des Modules der Sonneneinstrahlung ausgesetzt ist. Temperaturunterschiede der beschatteten und der unbeschadeten Modulfläche führt aufgrund der unterschiedlichen Temperatúrausdehnung des Glases zu starken inneren Spannungen, welche Glasrisse und Glasbruch verursachen können. Durch das Sandstrahlen wurden "Furchen" in die Glasoberfläche "geschliffen". Diese könnten besonders an den Modulrändern zu einer massgebenden Schwächung bezüglich Schlagschatten führen.

Aus diesem Grunde wurde empfohlen, die statische Belastbarkeit der Module auf rechnerischem Weg zu erbringen und anstelle der geplanten Belastungstests HSLU mit der Messung der Schlagschattenbelastung zu beauftragen.

Mit Hilfe eines Versuchsaufbaus wurden die auftretenden Temperaturen der Gläser gemessen.



Abb. 8 Ansicht Versuchsaufbauten mit Messpunkten und Abschattungen (Quelle HSLU)



In einem weiteren Schritt wurde die Belastbarkeit der Modulkante gemessen (Kantenfestigkeit). Aus den fertig bearbeiteten PV-Modulen wurden Probestreifen des Randes herausgeschnitten. Um die effektive Kantenfestigkeit zu ermitteln, wurden an den Probestücken 4-Punkt Biegeversuche durchgeführt. Der 4-Punkt Biegeversuch eignet sich besonders, da sich dabei das maximale Biegemoment zwischen den Lastenleitungen konstant verhält und somit eine breite Kante geprüft wird.

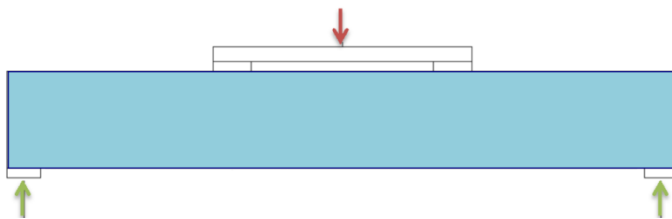


Abb. 9 Versuchsaufbau 4-Punkt Biegeversuch Glaskante. links schematisch, rechts real (Quelle HSLU)

Weiter wurde die ganzheitliche Modellierung des Fassadenaufbaus mit Hinterlüftung durchgeführt. Dazu bedurfte es eines speziellen Berechnungsmodells, welche auf das iterative Berechnungsmodell für Isolierglas-Temperaturen in ein- oder mehrschichtigen Fassadenaufbauten² aufbaut. Dies erlaubte es, den Temperaturverlauf über den Fassadenaufbau unter den solaren, thermischen und optischen Randbedingungen im mittleren Bereich zu Berechnen. Dabei wurde auch die Hinterlüftung nach SN EN 13363- berücksichtigt.

Das HSLU kam zum Schluss, dass das thermische Bruchrisiko infolge Schlagschatten gering ist und in Übereinstimmung mit der aktuellen Normung ausreichende Sicherheit vorhanden ist.

8. Bau

Der Einbau der Module erfolgte wie geplant. Wie bei jeder Fassade mit unterschiedlichen auf Mass vorgefertigten Elemente sind kostenintensive Messprozeduren erforderlich um den Rohbau, die Zargen der Fenster und Türen und die PV Module exakt einzumessen.

In jeder Fassade wurden je ein Temperatur- und ein Einstrahlungssensor installiert, um den Ertrag der Module über die Zeit messtechnisch zu verfolgen.

Die Beschaffung von Ersatzmodulen ist bei 3-monatiger Lieferzeit mit nicht vernachlässigbaren Transportkosten verbunden.

² T. Wüest, Klimalasten an Mehrscheiben-Isolierglas, Horw: HSLU T&A, 2015.



9. Weitere Erkenntnisse

Die überschüssige hydrophobische Oberflächenbeschichtung hat sich nach wenigen Monaten teilweise bereits abgetragen und zu Farbunterschieden geführt. Die Farbunterschiede sollen, gemäss Hersteller nach einigen Monaten jedoch verschwinden. Je nach Betrachtungswinkel und Lichteinfall verleiht dies der Fassade zurzeit eine lebendige Erscheinung. Die Beschichtung wurde vom Unternehmen, welches das Sandstrahlen durchführt und von der Installationsfirma mit Nachdruck empfohlen. Die Beschichtung vermeidet Glaskorrosion z.B. durch Handschweiss während der Bearbeitung und Montage. Die Beschichtung ist gemäss Hersteller auch nach Abtragen des oberflächlichen Überschusses noch wirksam.

10. Aussicht

Es ist noch geplant den Einfluss der Verschmutzung, die Ertragsmessungen am Gebäude, die Kostenstrukturen und architektonische Beurteilung auszuwerten.