



Jahresbericht vom 20.07.2017

---

# Leuchtturm Photovoltaik Fassade an PlusEnergieBau Sanierung Zürich



---

© Viridén + Partner AG, Zürich.



**Datum:** 20.07.2017

**Ort:** Bern

Subventionsgeberin:  
Schweizerische Eidgenossenschaft, handelnd durch das  
Bundesamt für Energie BFE  
Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprogramm  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

Subventionsempfänger:  
Viridén + Partner AG  
Zweierstrasse 35, 8004 Zürich  
[www.viriden-partner.ch.ch](http://www.viriden-partner.ch.ch)

Zurfluh Lottenbach GmbH  
Hertensteinstrasse 44, 6004 Luzern, [www.zurfluhlottenbach.ch](http://www.zurfluhlottenbach.ch)

e4plus AG  
Kirchenrainweg 4a, 6010 Kriens, [www.e4plus.ch](http://www.e4plus.ch)

Gasser Fassadenbau AG  
Schuppisstrasse 7, 9016 St. Gallen, [www.gasserfassadentechnik.ch](http://www.gasserfassadentechnik.ch)

Diethelm Fassadenbau AG  
Spielhof 1, 5626 Hermetschwil, [www.diethelm-ag.ch](http://www.diethelm-ag.ch)

ewz  
Gerhard Emch, Tramstrasse 35, 8050 Zürich, [www.ewz.ch](http://www.ewz.ch)

Autoren:  
Karl Viridén, Viridén + Partner AG, [viriden@viriden-partner.ch](mailto:viriden@viriden-partner.ch)  
Andreas Büsser und Joel Meier, Viridén + Partner AG  
Kurt Diethelm, Diethelm Fassadenbau AG  
Iwan Thür, Gasser Fassadenbau AG

**BFE-Programmleitung:** Yasmine Calisesi, [yasmine.calisesi@bfe.admin.ch](mailto:yasmine.calisesi@bfe.admin.ch)  
**BFE-Projektbegleitung:** Stefan Nowak, [stefan.nowak@netenergy.ch](mailto:stefan.nowak@netenergy.ch)  
**BFE-Vertragsnummer:** SI/501241-01

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](mailto:contact@bfe.admin.ch) · [www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)



## Projektziele

Für ein Mehrfamilienhaus aus den 1980er Jahren in Zürich wurde ein gesamtheitliches Sanierungskonzept mit einer optimalen Gebäudehülle und intelligenter Haustechnik zum PlusEnergyBau erstellt. Der Planungswert gemäss SIA 2040 unterschreitet die Anforderungen der 2000 Watt-Gesellschaft\*. Die hinterlüftete Fassadenkonstruktion mit Photovoltaik-Bekleidung („aktive Glasfassade“) erfüllt hohe ästhetische Ansprüche und sollte zukünftig preislich mit hinterlüfteten Glasfassaden konkurrenzfähig sein. Die Maximierung des Eigenverbrauchs aus der Photovoltaik produzierten Energie wird angestrebt. Dazu werden die Wärmepumpe und ein Teil der Elektrobezüge zur Lastverschiebung einbezogen. Aussagen zu Auswirkungen auf die Netzstabilität (innerhalb des Quartiers) und deren Konsequenzen werden gemacht. Dies ist zur Zeit eines der grössten Mehrfamilienhäuser, welche in Europa auf diesen Standard saniert wurde.

\*Die Unterschreitung der Anforderungen der 2000 Watt-Gesellschaft um 50 % wurde in Absprache mit dem BFE zugunsten der höheren Anforderung an die Ästhetik aufgehoben. Siehe Kapitel Ästhetik versus Leistung.

## Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Die Bauarbeiten inklusive „aktiver Glasfassade“ und der Umgebung konnten im September 2016 abgeschlossen werden. Die Mieter der 28 Wohnungen konnten im Laufe des Septembers ihre Wohnungen beziehen. Die zwei Ladenmieter blieben während der Bauzeit in der Liegenschaft. Die Photovoltaikanlage auf dem Dach liefert seit dem 13. April 2016 Strom ans Netz. Im September konnte der letzte Wechselrichter den Photovoltaikstrom von der Fassade einspeisen. Die Einrichtung der Messinstallation dauerte bis November 2016.

### Photovoltaikanlagen Fassade und Dach

	Anlage Dach	Anlage Fassade	Total
Modultyp	Winaico; WSP 310 M6	Glas/Glas-Module monokristalline PVP Photovoltaik GmbH, Wies/A	
Wechselrichter	SolarEdge 25k 3-phasig	8 Stück SolarEdge 25k / 17k 3-phasig	
Leistungsoptimierer	SolarEdge Opti- mierer P700	SolarEdge Optimierer P700	
Installierte Leistung (DC)	31 kW <sub>p</sub>	159 kW <sub>p</sub> S/O/W/N: ca. 25/23/22/30 %	190 kW <sub>p</sub>
Aufstellwinkel	15°	90°	
Anzahl Module aktiv	100 Stücke	1'545 Stücke S/O/W/N: ca. 25/23/22/30 %	1'645 Stücke
Leistung Modul	310 W <sub>p</sub>	28 – 170 W <sub>p</sub>	
Leistung pro m <sup>2</sup>	188 W <sub>p</sub>	110 W <sub>p</sub>	
Installierte Fläche aktiv	165 m <sup>2</sup>	1'586 m <sup>2</sup>	1751 m <sup>2</sup>
Installierte Fläche passiv	-	34 m <sup>2</sup>	
Geplanter Ertrag	28'600 kWh/a	53'100 kWh/a	81'700 kWh/a



Glasaufbau Module Fassade		<ul style="list-style-type: none"><li>• 4 mm Frontglas TVG satiniert mit Digital-Keramikdruck</li><li>• Einkapselungsfolie EVA (Ethylen-Vinylacetat-Copolymer)</li><li>• Zellen 5.13 W/Zelle von Gintech</li><li>• Einkapselungsfolie EVA</li><li>• 4 mm Rückglas TVG</li></ul> Gesamtdicke von 8.5 +/- 0.05mm
------------------------------	--	--

Abbildung 1: Angaben zu Photovoltaikanlagen

### Ausgangslage Fassadenkonstruktion

Das Prinzip der vorgehängten hinterlüfteten Fassade VHF gewährleistet als eines der sichersten Fassadensysteme einen dauerhaften Schutz des Gebäudes. Anders als bei Wärmedämmverbundsystemen gibt es bei der VHF eine konstruktive Trennung der Funktionen Wärmeschutz und Witterungsschutz. Dadurch entsteht eine Lebenserwartung von mehr als 50 Jahren und die Gewähr eines einfachen Rückbaus mit Trennung der Bauteile.

### Normen und Empfehlungen

Die Normvorgaben im Bereich der Fassade und der Photovoltaik sind aufgrund ihrer untergeordneten Bedeutung in der Rohbautragstruktur erst im Aufbau begriffen. Die Planer bedienen sich deshalb vor allem an Richtlinien von Fachverbänden und soweit vorhanden am Normenwerk des Eurocode. Die folgende Auflistung zeigt die angewandten Normen und Richtlinien für das Projekt PV-Fassade an der Hofwiesenstrasse:

- SIA261:2014 Lastannahmen für Statik PV-Module und Unterkonstruktion
- Eurocode 9: Aluminiumbau für Auslegung und Nachweise der Aluminiumbauteile
- DIN 18008 Glas im Bauwesen für Auslegung und Nachweise der Glasbauteile

Aktuell ist in der Schweiz eine Glasnorm in Arbeit, welche die Verwendung von Glas am Bau regelt. Damit wird Planern und Unternehmern ein lange erwünschtes Werkzeug zur Auslegung der Bauteile aus Glas zur Verfügung stehen.

### Unterkonstruktion

Die statische Brücke zwischen Rohbau und Fassadenbekleidung bildet die primäre Unterkonstruktion. Dabei ist immer der Spagat zwischen notwendiger Stabilität und möglichst geringen Wärmebrücken zu machen. An der Hofwiesenstrasse wurde diese Aufgabe mit der Kombination aus Edelstahlkonsolen für Fassadengewicht und Windlast und aus wärmebrückenfreien GFK-Konsolen nur für Windlast gelöst. Diese Verbindung schafft den aktuell kleinstmöglichen Wärmebrückeneffekt. Eine entscheidende Bedingung um die guten Leistungen der Dämmpakete nicht durch viele durchgehende Metallteile zu schwächen.

Für die sekundäre Unterkonstruktion wurde ein einfaches Schienensystem aus Aluminium angewandt. Jede Glasreihe steht dabei unten auf einer horizontalen Schiene und ist oben ebenfalls an einer Schiene zurückgebunden. Das System wurde so gewählt, dass die PV-Module nicht angehoben sondern nur eingekippt und fixiert werden müssen. Das vereinfacht sowohl Ein- und Ausbau wie auch das Handling mit der Verkabelung der Photovoltaik.

### Befestigungstechnik der Fassadenpaneele (Module) - Klebetechnik

Die Vorteile der elastischen Klebetechnik sind, dass über die Klebstoffverbindung die auftretenden Kräfte durch Eigengewicht und Wind in die Fläche eingeleitet werden können. Spannungsspitzen, die bei

gerahmten oder geklemmten Modulen im Glasrandbereich entstehen können, werden über die Elastizität des Klebstoffes ausgeglichen. Dieses Prinzip wurde auch bei der Hofwiesenstrasse konsequent angewandt. Dabei werden pro Glas zwei vertikale Aluminiumprofile seitlich randnah aufgeklebt. An den Enden dieser Profile liegen die Klammern, welche in die vorgängig beschriebenen Tragschienen eingreifen können.

Die Klebetechnik bedingt zwar ein hochwertiges Glas-Glas-Modul weil nur auf glatten Oberflächen von Glas oder Aluminium zuverlässig geklebt werden kann. Der Verzicht auf eine seitliche Rahmung bringt aber dennoch eine Kostenreduktion von ca. 5%.

### Lebenserwartung

Die Lebensdauer von PV-Fassaden hängt massgeblich von der richtigen Materialwahl und der konsequent zwängungsfreien Montage ab. Ersteres wurde durch die Wahl von Edelstahl, Aluminium, Glas und Silikon durchwegs erfüllt. Korrosionsgefährdete Metalle, Kunststoffe ohne UV-Beständigkeit und ähnliche Produkte wurden durchwegs nicht berücksichtigt. Die wichtige zweite Eigenschaft wurde durch das Teilen der Fassadenflächen in viele kleine Dilatationsfelder erreicht. Das beginnt bei der Ausbildung von Fix- und Gleitpunkten bei den Konsolen, führt über die Teilung der Aluminiumprofile in Kurzstücke von max. 2.50m Länge und endet bei der autonomen und zwängungsfreien Lagerung jedes einzelnen PV-Moduls.

### Aufbau und Auswertung Fassadenkonstruktion

Am Bauprojekt wurde eine hinterlüftete Fassade ausgeführt. Die hierzu gewählte Unterkonstruktion kam von der Firma Gasser Fassadentechnik. Das System GFT 66 eignet sich für Glas – und Photovoltaikfassaden. Durch eine eigens entwickelte Montagereihenfolge lassen sich in diesem System viele Montagevorteile vereinen. Z.B. kann der Produktionsprozess parallel laufen und verkürzt somit die Bauzeit.

Grundlegend bildet eine primäre Unterkonstruktionsebene aus Konsolen und Vertikalprofilen die Basis. Um dem Energiekonzept der Hofwiesenstrasse gerecht zu werden, kam hier eine Kombination von Chromnickelstahl-Konsolen (GFT CNS Konsolen) und wärmebrückenfreien Konsolen (GFT Thermico STAR) zum Einsatz. Die Wärmedämmung wurde eingeschlitzet und über die Konsolen lückenlos gestülpt und mechanisch gesichert. Stützabstände und maximale Spannweiten werden vorgängig in einer statischen Berechnung ermittelt.

Abbildung 2: GFT CNS Konsolen und GFT Thermico Star Konsolen; unsichtbare Befestigung hinterlüfteter Fassadenbekleidung

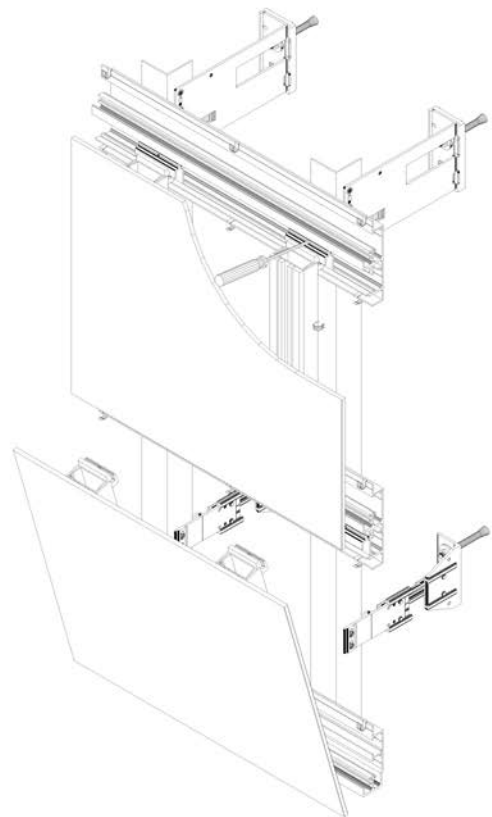


Abbildung 2

Die Kombination aus wärmebrückenfreier Unterkonstruktion und ertragreichen PV-Modulen bildet am Bauvorhaben Hofwiesenstrasse eine optimale ausgewogene Lösung.

Es zeigte sich, dass die hinterlüftete Konstruktion mit der Möglichkeit die Module einzeln aus der Fassade zu lösen, sich bewährte.

### Anforderungen an die aktive Glasfassade

*Einheitliche Modul-Grössen anstreben:* Geringere Kosten und bessere Energiebilanz.

*Jedes Modul demontierbar:* Jedes PV Modul kann durch einen ausgebildeten Monteur mit geringem Aufwand demontiert werden. Konzept bezüglich der Zugänglichkeit erarbeiten (z.B. Einsatz Skyworker).

*Möglichst keine Beschattung:* Optimierte Bank-, Sturz- und Brüstungsausbildung.

*Geringe Verschmutzung:* Schmutzwasser wenn möglich gegen das Gebäude (z. Bsp. Dachfläche) abführen. Wenn nicht anders möglich (z.B. Fensterbank), genügend Gefälle und ausreichender Vorsprung zur Fassade.

*Schwarzer Hintergrund:* Damit die Installationen durch die offenen Fugen nicht sichtbar in Erscheinung treten, wurden alle Installationen, Profile und Dämmungen in schwarz gehalten.

*Verkabelung PV-Module:* Verkabelung ohne Zug auf Steckverbindung und Verbindungskabeln; die Kabel an der Unterkonstruktion fixieren, damit bei den Kabelanschlussstellen kein Knicken auftreten und infolge Zuglast kein Kabelbruch entstehen kann; eine saubere Beschriftung der Kabelverbindungen.

*Leistungsoptimierer (Optimizer):* Platzierung in der Hinterlüftungsebene ist sinnvoll; diese sollten jedoch ohne grossen Aufwand zugänglich sein; möglichst kurze und direkte Verkabelungsdistanzen realisieren, um grössere Leistungsverluste zu vermeiden und Kabelkosten einzusparen; Leitungsführung in der Hinterlüftungs- oder in der Dämmebene möglich.

*Montage:* Klare Logik der Modulbeschriftung ist äusserst wichtig; gute Terminierung mit Anlieferungskonzept; Verlege-Anleitung für Unterkonstruktion, Blitzschutz, PV-Module und Verkabelung abgeben inkl. Instruktion auf der Baustelle; Messkonzept und Protokollierung während der Montage definieren.

*Gerüstanker:* PV Module bei den Gerüstankern können nicht montiert werden; entsprechend ist ein Konzept bezüglich Montageablauf auszuarbeiten.

*Unterhalt und Reinigung:* Konzept für Unterhalt der Fassade erarbeiten.

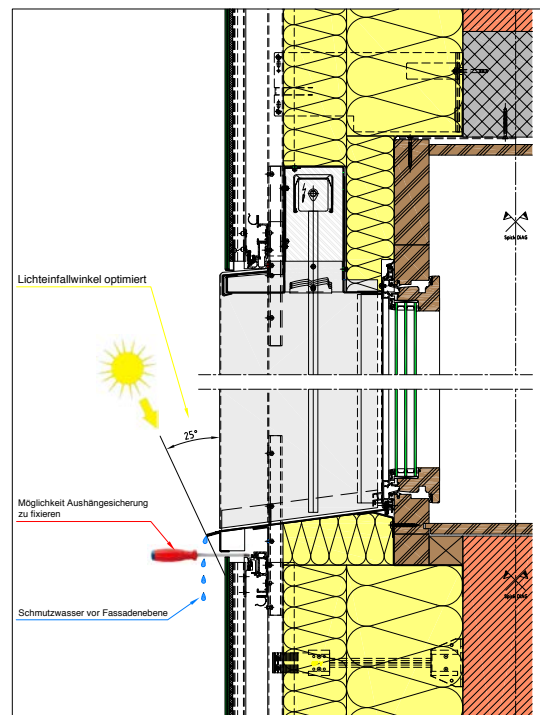


Abbildung 3: Detailschnitt Fenster aktive Glasfassade



*Anlagedokumentation:* vollständigen Anlagedokumentation erstellen und dem Anlageinhaber und -betreiber abgeben.

### **Ertragsoptimierung an der Fassade mit Solaredge**

Wenn Dachanlagen so geplant werden, dass die Module kaum verschattet werden, muss bei Fassaden mit Verschattungen der Nachbargebäude oder Eigenverschattung durch Balkone gerechnet werden.

Das Solaredge-System unterscheidet sich von konventionellen Systemen vor allem durch die Verwendung von Leistungsoptimierern. Dabei werden immer zwei bis drei Standard Module mit je rund 250 bis 300 W Leistung an einen Optimierer angeschlossen. Dieser übernimmt die MPP-Tracking Funktion, welche bei konventionellen Systemen vom Wechselrichter durchgeführt wird. Mehrere Optimierer werden wiederum zusammen in einem Strang zum Wechselrichter geführt. Pro Wechselrichter können maximal drei Stränge à maximal 25 Optimierer angeschlossen werden.

MPP-Tracking auf Modulebene führt dazu, dass jedes Modul seine maximale Energie unabhängig von anderen Modulen im Strang produziert. Leistungsschwache Module beeinflussen somit nicht die Produktion des gesamten Stranges wie es bei konventionellen Systemen der Fall ist.

Leistungsoptimierer ermöglichen die Installation von:

- Module in teilverschatteten Bereichen
- Stränge unterschiedlicher Länge und Anzahl Modulen
- Stränge mit verschiedenen Ausrichtungen und verschiedenen Flächen

Gerade die Möglichkeit Module in teilverschatteten Bereichen und verschiedenen Flächen miteinander zu koppeln ist eine wichtige Voraussetzung für die Fassadenfläche der Hofwiesen- und Rothstrasse.

Durch die Verwendung der Leistungsoptimierer ist der Wechselrichter lediglich noch für die DC/AC Umwandlung zuständig. Somit ist er kleiner und ästhetischer, was wiederum weniger Platz beansprucht. Dies verringert zudem die Anfälligkeit für Störungen und reduziert das Brandrisiko.

Bei der Installation können bis zu 60 Module pro Strang an den Wechselrichter angeschlossen werden. Für konventionelle Systeme werden meist nur 23 Module pro Strang verwendet. Dadurch ist die Verkabelung der ganzen Anlage kürzer und es braucht weniger Stränge pro Wechselrichter für die gleiche Leistung. Gerade bei der Fassadenanlage bringt dies einen grossen Vorteil mit sich.

Durch die Verwendung von Leistungsoptimierer können in einem Strang unterschiedliche Module (verschiedene Anzahl Zellen) verwendet werden. Bei einem Modulaustausch kann jedes auf dem Markt verfügbare Modul als Ersatz eingesetzt werden. Bei dem sich ständig verändernden Solarmarkt ist das ein grosser Vorteil für die Lebensdauer der gesamten Anlage. Auch eine Erweiterung der Anlage zu einem späteren Zeitpunkt ist ohne grösseren Aufwand möglich, da neue Leistungsoptimierer im selben Strang wie ältere Modelle verwendet werden können.

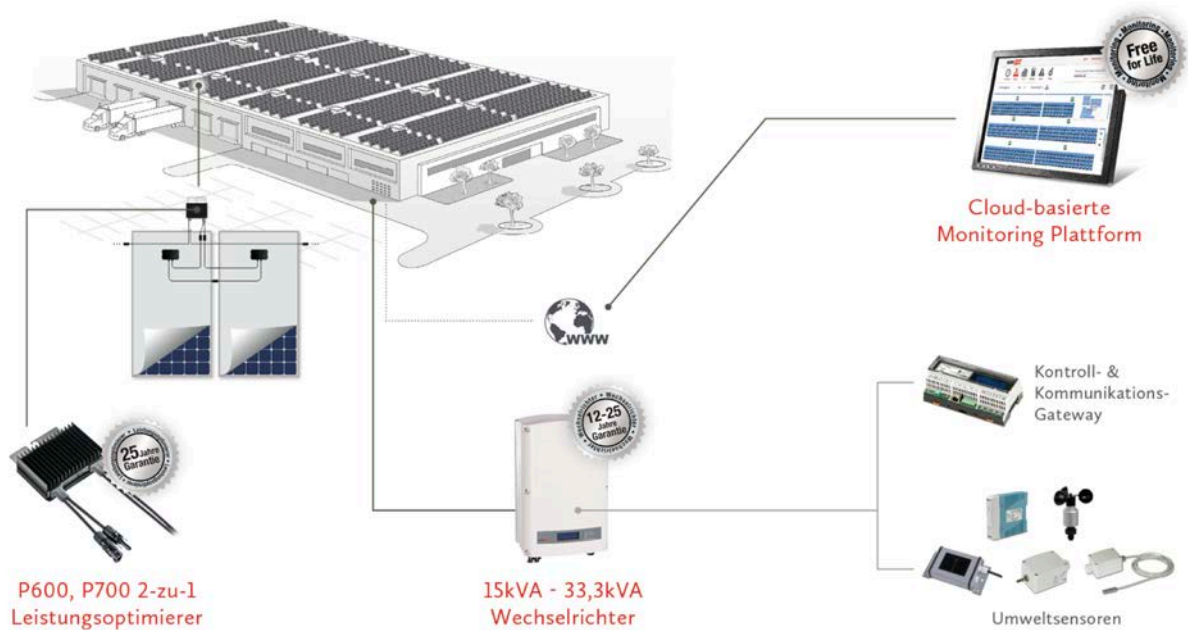


Abbildung 4: Übersicht der Komponenten einer Anlage von Solaredge

Mittels verschiedener Kontroll- & Kommunikation-Gateways in den Wechselrichter und Leistungsoptimierer, kann die Anlagenleistung und der Anlagenstatus in Echtzeit über ein online Monitoring-Portal abgerufen werden. Das Monitoring-Portal beinhaltet eine automatische Benachrichtigung bei Anlagenproblemen und einen vollumfänglichen Support. Durch die Möglichkeit einer Fernmessung verschiedener Kennwerte spart man Zeit für einen allfälligen Anlagenbesuch des Elektrikers.

Die Anlage an der Hofwiesen- und Rothstrasse arbeitet mit folgenden zwei Komponenten von Solaredge.

#### Leistungsoptimierer P 700

DC-Nenneingangsleistung	700 W
Maximale Eingangsspannung	125 Vdc
MPPT-Betriebsbereich	12,5 – 105 Vdc
Maximaler Eingangsstrom	10,1 Adc
Wirkungsgrad	98,6 %
Abmessungen	128 x 152 x 48 mm
Gewicht	1'053 gr.

#### Wechselrichter

#### SE16K

#### SE25K

#### Ausgang

AC-Nennleistung	16'000 VA	25'000 VA
Ausgangsspannung AC (PP / PN)	400 / 230 Vac	
AC-Ausgangsspannungsbereich (PN)	184 – 264,5 Vac	



AC-Frequenz	50/60 ± 5 Hz	
Maximaler Ausgangsstrom	25,5 A	38,5 A
<b>Eingang</b>		
Maximale DC-Leistung	21'600 W	33'750 W
Maximale Eingangsspannung	900 Vdc	900 Vdc
DC-Nenneingangsspannung	750 Vdc	750 Vdc
Maximaler Eingangsstrom	23 Adc	37 Adc
Wirkungsgrad	97,7 %	98 %
Abmessungen	540 x 315 x 260 mm	
Gewicht	33,2 kg	45 kg

Abbildung 5: Angaben zu Leistungsoptimierer und Wechselrichter

Von den 18 verschiedenen Modultypen sind 13 Modulformate mit Zellen ausgestattet. Diese 13 Modultypen unterscheiden sich nicht nur in der Grösse sondern auch in der Anzahl der verbauten PV-Zellen. Bei den grösseren Modulen wurden mehrere in einem String an die Optimierer angeschlossen.

Modul- typ	MPP Leis- tung	Leer- laufspannung	Kurzschluss- strom	MPP Span- nung	MPP Strom	Ge- wicht	Zel- len	Flä- che
	W	V	A	V	A	kg	-	m <sup>2</sup>
<b>A</b>	155	32.45	6.16	26.78	5.79	31	48	1.376
<b>A1</b>	115	24.34	6.16	19.87	5.79	31	36	1.376
<b>B</b>	105	21.63	6.16	18.14	5.79	23	32	1.001
<b>C</b>	75	16.22	6.16	12.96	5.79	19	24	0.834
<b>D</b>	50	10.82	6.16	8.64	5.79	14	16	0.639
<b>E</b>	50	10.82	6.16	8.64	5.79	13	16	0.57
<b>G</b>	175	36.50	6.16	30.24	5.79	36	54	1.584
<b>H</b>	115	24.34	6.16	19.87	5.79	26	32	1.152
<b>I</b>	85	18.25	6.16	14.69	5.79	22	27	0.96
<b>K</b>	55	12.17	6.16	9.50	5.79	17	18	0.736
<b>L</b>	55	12.17	6.16	9.50	5.79	15	18	0.656
<b>N</b>	55	12.17	6.16	9.50	5.79	15	18	0.683
<b>O</b>	35	8.11	6.16	6.05	5.79	11	12	0.497
<b>P</b>	25	6.08	6.16	4.32	5.79	9	9	0.414

Abbildung 6: Modultypen

Damit die kleineren Module mit der kleineren Anzahl an Zellen, die erforderliche minimalen Anforderungen erbringen können, wurden diese in zwei Strings aufgeteilt und parallel an den Optimierer angeschlossen. Um eine möglichst gute Übersicht über die etwa 1'550 aktiven Module zu haben, wurde fol-



gende Nummerierung gewählt z.B. 1.1.3. Die Optimierer haben jeweils eine drei bzw. vier stellige Nummer, je nachdem ob sie nur einen String oder zwei Strings angeschlossen haben. Die erste Nummer zeigt zu welchem Wechselrichter der Optimierer gehört, die Zweite den dazugehörigen Strang und die dritte an welcher Position der jeweilige Optimierer steht.

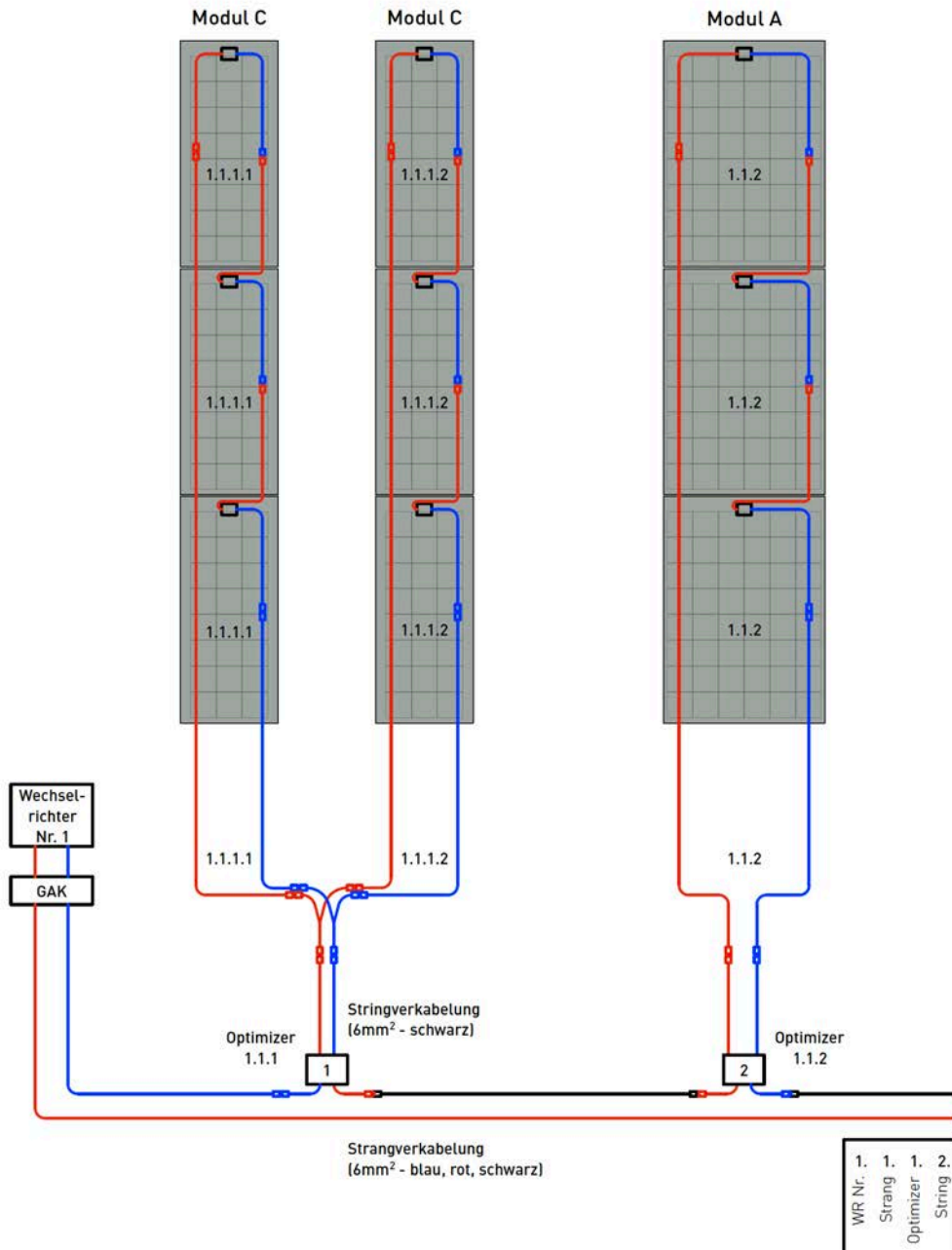


Abbildung 7: Konzept der Verstringung mit Solaredge

Bei Fassadenanlagen gibt es zwei Arten wie man die Strings anordnet. Entweder die Module werden horizontal oder vertikal zusammen zu einem String verbunden. Andere Anordnungen werden nur in Spezialfällen, wenn es zum Beispiel die Gebäude Geometrie nicht zulässt, angewendet. Der grösste Teil



der Fassaden wurde durch vertikale Versträngungen realisiert, da dies am ehestens dem Verschattungsverlauf entspricht.

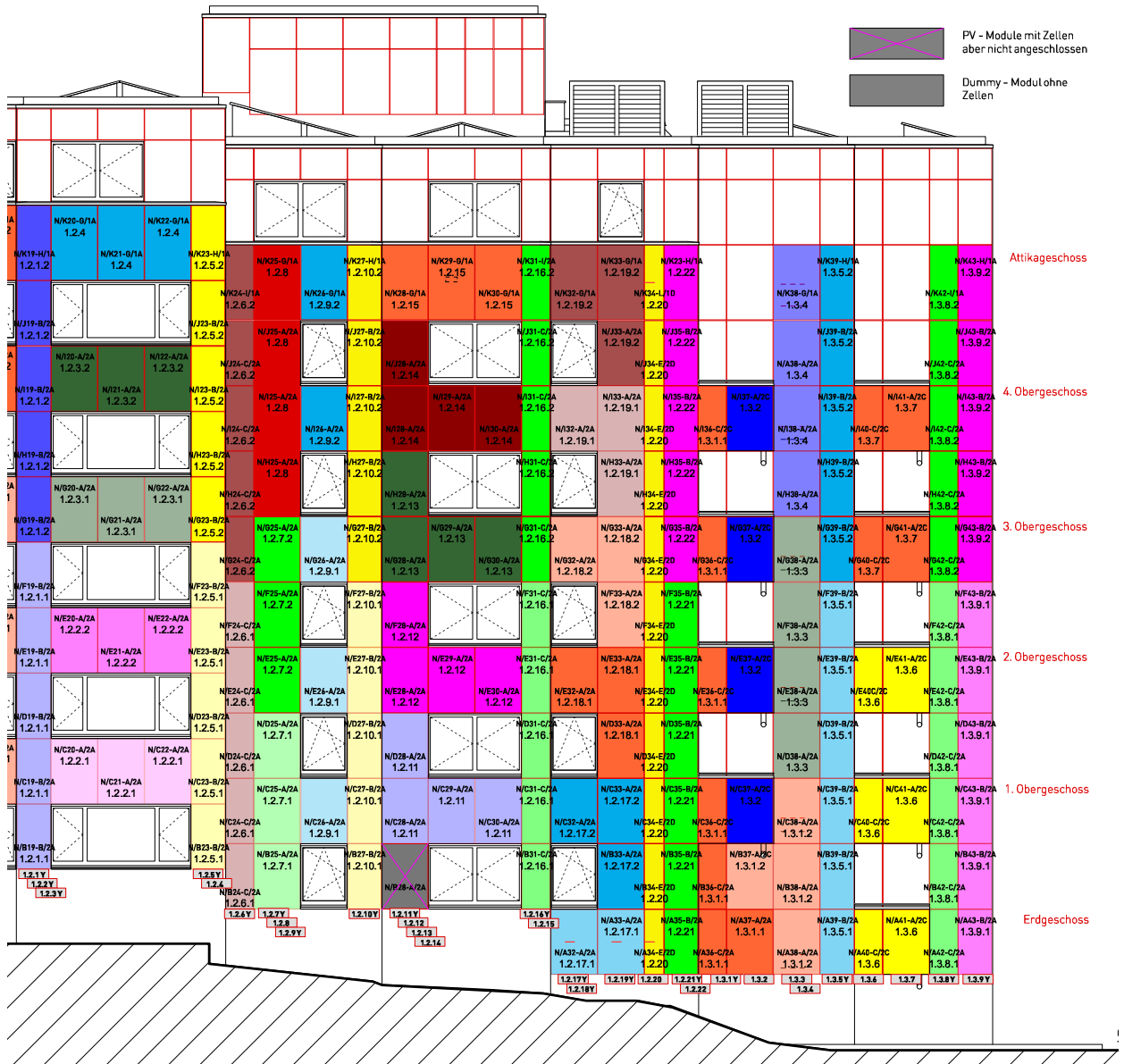


Abbildung 8: Verkabelung Nordfassade



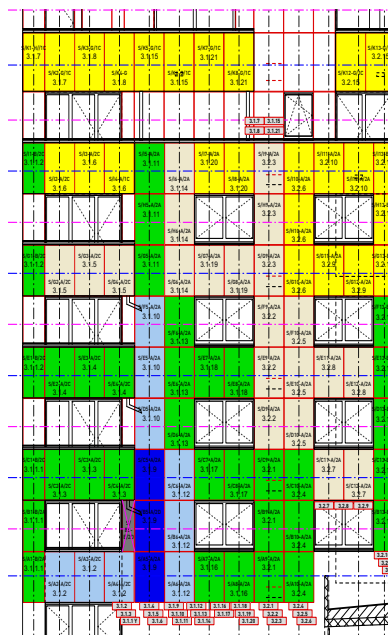
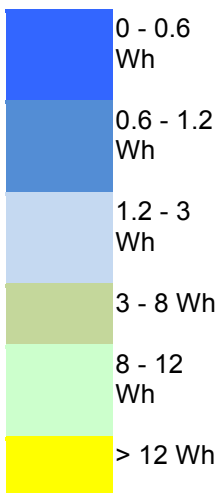
Die Optimierer wurden mehrheitlich ganz unten an der Fassade positioniert, sodass sie ohne die Notwendigkeit eines Gerüsts ausgetauscht werden können. Dies dient der Sicherheit und verringert den Aufwand von Wartungsarbeiten. Dafür wird, durch die zusätzliche Länge der Kabel, ein leicht höherer Leitungsverlust in Kauf genommen.



Abbildung 9: Installation der Optimierer im zugänglichen Sockelbereich

### Leistungs- und Ertragskontrolle

Die Auswertung über SolarEdge zeigte sehr bald, dass einige Module den produzierten Strom über die Optimierer bzw. Wechselrichter nicht ins Netz einspeisen konnten. Die Abklärungen der Mängel beanspruchte einige Zeit. Die Tagesproduktionen pro Modul (rund 1'650 aktive Module in Fassade und Dach) wurde von verschiedenen Tagen ausgewertet und miteinander verglichen.



Abbildungen 10: Tagesproduktion pro Modul farblich dargestellt  
Abbildungen 11: Foto der zugehörigen Südfassade

Es konnte genauer festgestellt werden, welche Module beschattet werden (siehe Bilderreihe oben) und wo es in der gleichen unbeschatteten Fassadenfläche unterschiedliche Tagesproduktionen gab.

Am 17. März 2017 wurden mithilfe von thermographischen Aufnahmen alle Module auf der Südseite und der Grossteil der Module auf Ost- und Westseite untersucht. Ausser einem Module scheinen alle in Ordnung zu sein. Ein Modul erwärmte sich stärker als andere, was darauf schliessen lässt, dass die monokristallinen Zellen Strom produzieren, diese jedoch nicht aus dem Modul geführt wird. Daraus lässt sich ein Defekt bei der Anschlussdose schliessen.

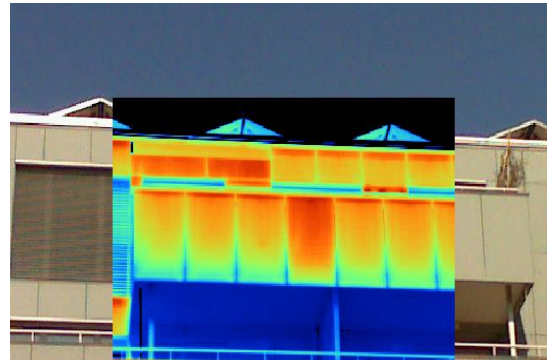


Abbildung 12: Siehe im Bild das dunkelrote Modul in der Reihe der orange-grünen Modulen.



Abbildungen 13: Tagesproduktion in verschiedenen Farben an der Südfassade vom 23. März 2017

Abbildungen 14: Foto der zugehörigen Südfassade



Es konnten jedoch auch defekte Optimierer festgestellt werden. Diese wurden in Garantie jeweils ausgetauscht. Fehler auf Grund von mangelhaft angeschlossenen Steckverbindungen wurden keine festgestellt.



Es gibt noch einige Module die wegen der Beschattung eine sehr geringe Leistung aufweisen, welche im Monitoring als Fehler erfasst werden. Es sind Module in den Balkonnischen in den unteren Geschossen. Diese Module wurden als Test angeschlossen. Es hat sich jedoch gezeigt, dass ein Anschluss in diesem Fall nicht sinnvoll ist.

Bis zum Abschluss dieses Berichtes sind nun alle Module, mit Ausnahme der oben erwähnten Module, aktiv und liefern Strom ins Netz.

### Auswertung Tagesertrag vom 8. Juni 2017

Die Auswertung eines sonnigen Tages am 8. Juni 2017 zeigt einen konstanten Produktionsablauf über den Tag. Eine Dachanlage, die wie beim Leuchtturmprojekt im Idealfall eine Ost-Westausrichtung aufweist, hat eine jeweils mehr oder minder steil ansteigende Ertragskurve mit Ertragsspitze über Mittag danach wieder einen abfallenden Ertrag. Reine Südanlagen haben eine ausgeprägte Ertragsspitze über Mittag. Dank der „aktiven Glassfassade“ ist der Ertrag zwischen 9 und 18 Uhr relativ konstant mit zwei kleinen Spitzen um 11 Uhr und 16 bis 17 Uhr (Sommerzeit).

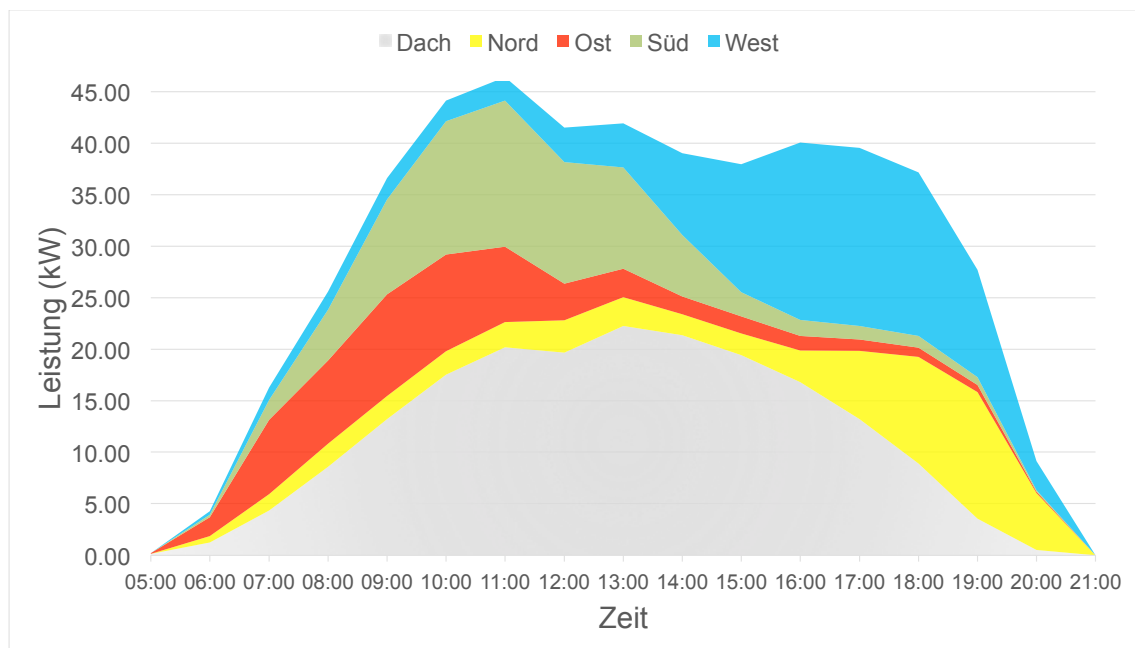


Abbildung 15: Auswertung Tagesertrag vom 8. Juni 2017 von Fassade und Dach

Am 8. Juni 2017 wurde 485 kWh Solarstrom produziert. Das Dach weist einen Anteil von 39 % auf, die Fassaden 12 % (Nord), 12 % (Ost), 16 % (Süd) und 21 % (West).

Diese spezielle Ertrags-Verteilung an der Fassade kommt durch eine Verschattung der Ostfassade durch die Nachbargebäude, in den Morgenstunden, zustande. Die Südfassade hat durch den steilen Sonnenstand im Sommer auch einen relativ geringen Ertrag im Verhältnis zu den anderen Jahreszeiten.

Die Dachanlage gleicht über den Tag die Fassaden sehr gut aus. Dies wird in der Abbildung ersichtlich, wenn nur die Fassadenerträge aufgezeichnet werden.

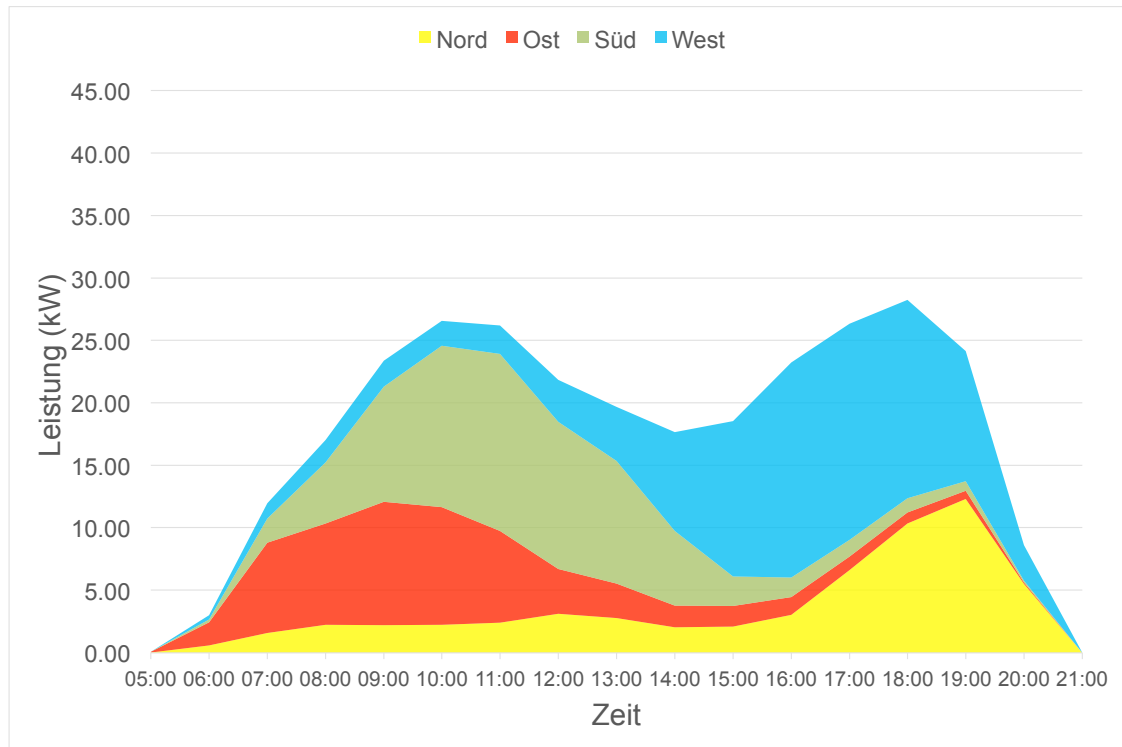


Abbildung 16: Auswertung vom 8. Juni 2017 nur Erträge der Fassaden (ohne Dach)

Nach den anfänglich häufigen Ausfällen durch defekte Optimierer, entspricht der Energieertrag seit April den Erwartungen, bzw. übertrifft die Planungswerte ab Juni aufgrund guter Sonneneinstrahlung.

### Ästhetik und Leistung

Die Entwicklung der Module für die „aktive Glasfassade“ schreitet zügig voran. Es kommen neue Module auf den Markt, die eine lichtdurchlässigere Beschichtung für den Farbton aufweisen und leistungswerte über  $130 \text{ W/m}^2$  ermöglichen (bei  $5,13 \text{ W/Zelle}$ ).

### Massnahmen zur Reduktion der Investitionskosten

Der Konstruktionsaufbau mit 110 mm ab Wärmedämmung bzw. Windpapier inklusive der Module (8,5 mm) ist zurzeit gross. Gasser Fassadentechnik AG hat den Aufbau weiter entwickelt und erreicht den Konstruktionsaufbau von mittlerweile 80 mm, noch immer mit der Möglichkeit Module einzeln aus der Fassaden zu nehmen.

Massnahmen, um die Investitionskosten bei der aktiven Glasfassade einzusparen liegen auch beim Modul. Je dünner das Glas-Glas-Modul, desto weniger Gewicht und umso einfacher die Unterkonstruktion. Die Glasdicke bestimmt sich aus der Glasfläche des einzelnen Module bzw. der Statik. Das Normmodul von  $1,0 \times 1,4 \text{ m}$  Grösse kann je nach gewählten Glastypeen mit einem Modulaufbau von allenfalls gegen rund 5,5 mm vorgenommen werden, was das Gewicht um mehr als 30 % reduzieren würde.

Ein weiterer Aspekt sind die Anzahl verschiedenen Modultypen/ Grössen die verbaute werden. Je kleiner die unterschiedliche Anzahl der unterschiedlichen Modultypen, desto günstiger wird die Fassade. Am



Leuchtturmprojekt konnten trotz aufwändiger Abwicklung die Anzahl der Module auf 18 Typen (Grössen) reduziert werden.

## Nationale Zusammenarbeit

Für die thermografische Auswertung wurde mit Herr Franz Ulrich von Lindenberg Energie GmbH, Hohenrain zusammen gearbeitet.

Für die Verkabelung und Auswertung wurde mit Paul Schmid von GSK Advanceng AG, Malters-Luzern und Solaredge, München zusammengearbeitet.

## Kommunikationsaktivitäten

### Referate

Die Fertigstellung des Bauprojektes und insbesondere die "Aktive Glasfassade" wurden vermehrt in Referaten präsentiert. Seit dem letzten Bericht berichteten mindestens diese Referate über das BFE Leuchtturmprojekt:

**Total Teilnehmende an den Referaten in der Schweiz**

**1'090**

### Individuelle Besprechungen und Führungen

Einzelgespräche mit Architekten, Bauträger/ Immobilienbesitzer und weiteren Bauverständigen wurden intensiver geführt. Es konnte in einigen Projekten die "aktive Glasfassade" initiiert werden, die in den nächsten Jahren zur Realisation kommen.

Exemplarisch wir ein Beispiel aufgeführt:

Am 28. Feb. 2017 konnten im Rahmen der Einführung des Semesters an der Professur von Miroslav Sik das BFE Leuchtturmprojekt über 50 StudentInnen und Assistenten präsentiert werden. In diesem Rahmen waren weitere zwei bekannte BSA Architekten anwesend, die ihre Projekte mit BIPV präsentierten. Das eine vom Architekturbüro huggenbergerfries wird im Frühling 2017 erstellt und sollte im Herbst 2017 bezugsbereit sein. Sie konnten von den Erfahrungen des BFE Leuchtturmprojekts profitieren und hatten den gleichen Systemanbieter für die Unterkonstruktion. Das andere Büro jessenvollenweider planen das AUE Bürohaus in Basel und setzen die Photovoltaik in anderen Form in der Fassade. Am 30./31. Mai 2017 wurden die Studentarbeiten in der Schlusskritik besprochen. In dieser Form ist es das erste Mal, dass sich eine Semesterarbeit so intensiv mit Photovoltaik auseinander gesetzt hat, geschweige dann mit der Integration in die Fassade.

### TV- und Radio Aufnahmen

Total 6 TV- und Radioaufnahmen in der Schweiz

### Presseartikel

Total mindestens 31 Presseartikel in der Schweiz

mind. 1'130'000 Auflage



## Internationale Zusammenarbeit

International wurden Kongresse besucht, an denen nebst dem fachlichen Austausch auch potentielle PV-Hersteller kontaktiert werden konnten. An den folgenden Veranstaltungen war Karl Viridén auch als Referent anwesend:

- Eibiswald (**Österreich**), Sunnseit'n Steiern, 20. Okt. 2016 mit über 150 Personen
- Bad Staffelstein/ D, 32. Symposium Photovoltaische Solarenergie (PV Hersteller), 7. März 2017
- Bad Wörishofen (**Deutschland**), 8. HolzBauSpezial – Forum mit über 100 Personen, 22. März 2017

## Bewertung 2016 und Ausblick 2017

Die Bauarbeiten konnten gemäss der Planung termingerecht abgeschlossen werden. Die Einrichtung und ersten Messungen weisen darauf hin, dass wir auf Kurs sind. Im ersten Winter wurde jedoch für die Austrocknung mehr Energie aufgewendet, als dies im nächsten Winter zu erwarten ist.

Das Interesse von Presse, Fachleuten wie ArchitektInnen und der Bevölkerung ist gross. Seit der Montage der ersten PV Module sprechen wir nun von einer aktiven Glasfassade.

Im Laufe der zweiten Jahreshälfte wird die Planung der Batterie in Angriff genommen. Parallel dazu erfolgen die Messungen und Auswertungen des ersten Messjahres 2017.

## Referenzen

Keine

## Anhang

Keine



## Inhaltsverzeichnis

<b>Projektziele .....</b>	<b>3</b>
<b>Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse.....</b>	<b>3</b>
<b>Nationale Zusammenarbeit .....</b>	<b>16</b>
<b>Internationale Zusammenarbeit.....</b>	<b>17</b>
<b>Bewertung 2016 und Ausblick 2017 .....</b>	<b>17</b>
<b>Referenzen.....</b>	<b>17</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>17</b>
<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>18</b>