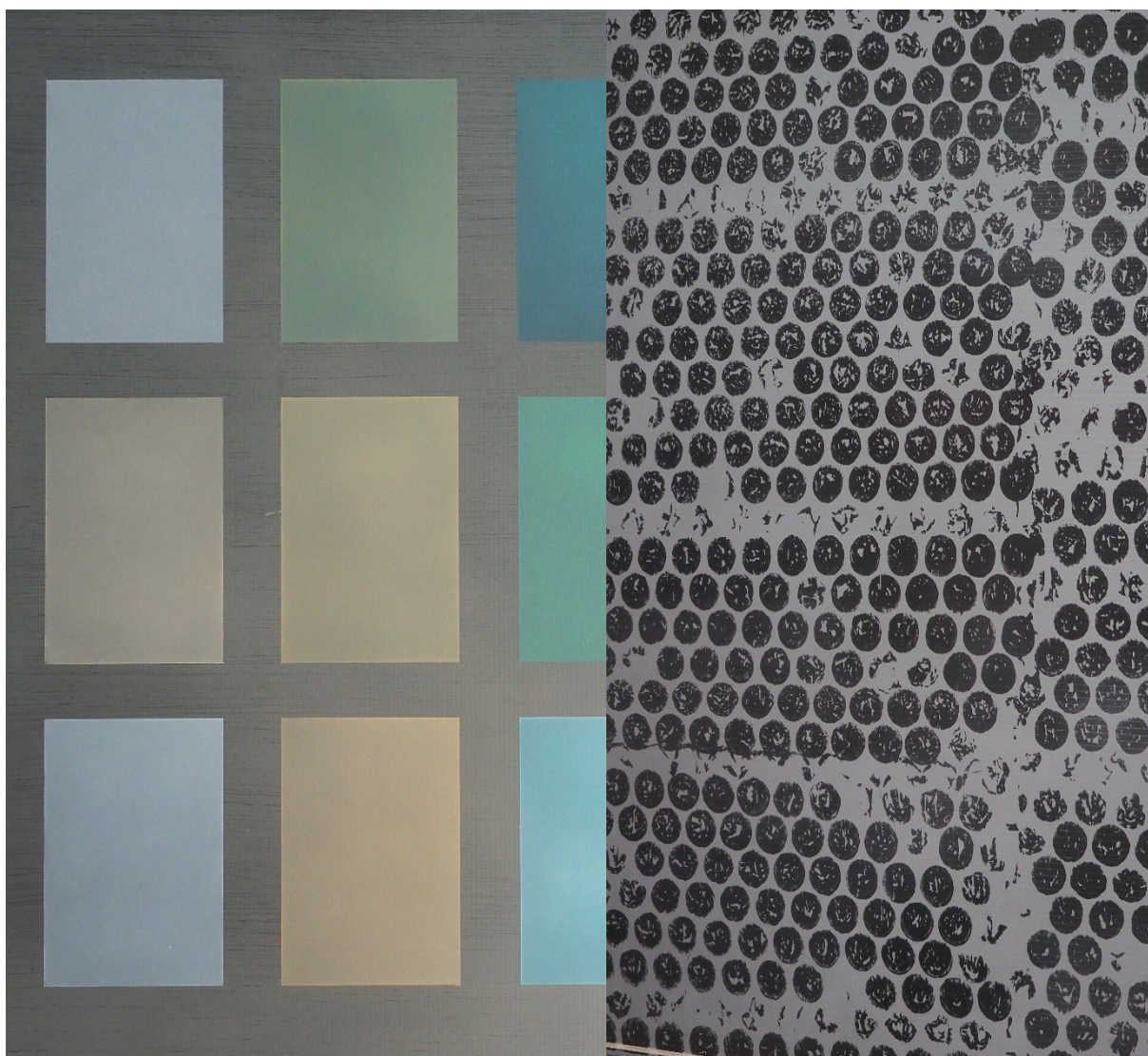




Schlussbericht vom 30.12.2017

Entwicklung neuer Gestaltungsmöglichkeiten von Photovoltaik-Gläsern zur Verbesserung der gesellschaftlichen Akzeptanz





Entwicklung neuer Gestaltungsmöglichkeiten von Photovoltaik-Gläsern zur Verbesserung der gesellschaftlichen Akzeptanz



ATELIER WEIDMANN GmbH

Datum: 28.12.2017

Ort: MuttENZ

Subventionsgeberin:

Schweizerische Eidgenossenschaft, handelnd durch das Bundesamt für Energie BFE

Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprogramm

CH-3003 Bern

www.bfe.admin.ch

Subventionsempfänger:

raumweg GmbH,	Fichtenhagstr. 4, 4132 MuttENZ	www.raumweg.ch
ENERGIE IMPULSE Region Basel	Elisabethenstr. 23, 4010 Basel	www.gewerbe-basel.ch
SOLVATEC AG	Bordeauxstr. 5, 4010 Basel	www.solvatec.ch
Atelier Weidmann GmbH	Stephan-Gschwindstr. 17, 4104 Oberwil	www.atelier-weidman.ch
Fachhochschule Nordwestschweiz	St.Jakob-Str. 84, 4132 MuttENZ	www.fhnw.ch

Autoren:

Martin Gruber, ENERGIE IMPULSE, Gewerbeverband BS

m.gruber@gewerbe-basel.ch

Markus Bloch, raumweg GmbH

architektur@raumweg.ch

BFE-Programmleitung:

Yasmine Calisesi, yasmine.calisesi@bfe.admin.ch

BFE-Projektbegleitung:

Stefan Nowak, info@netenergy.ch

BFE-Vertragsnummer:

SI/501274-01

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



Zusammenfassung

Die limitierten Gestaltungsmöglichkeiten von Solarpanels werden von Architekten und Bauherren als grosses Hindernis gegen den verbreiteten Einsatz in Baukörpern von Wohn- und Geschäftshäusern angesehen. Mit vorliegender Arbeit werden Methoden entwickelt, um für marktgängige Solarpanels eine nachträgliche Individualisierung des Erscheinungsbildes zu ermöglichen, ohne in den Produktionsprozess der Panelherstellung einzugreifen. Dazu werden verschiedene Techniken der Glasoberflächenbearbeitung und Färbung bezüglich Wirkungsgrad, Beständigkeit und Raumwirkung getestet. Dank eigenentwickelter Sandstrahltechnik und anschliessendem Einfärben mit semitransparenten Farben kann nun praktisch jedes erdenkliche Design, jede beliebige Struktur oder gar gegenständliche Darstellungen (Holzimitate, Rauputz, Backsteine) erzeugt werden. Das Verfahren unterscheidet sich damit grundlegend von anderen Verfahren, welche mit farbigen Gläsern, Aufdrucken oder Beschichtungen arbeiten, die in den Produktionsprozess eingreifen.

Es werden verschiedene Designs an einer Auswahl marktgängiger Modultypen getestet. Dabei liegen die Ertragswerte der Testserien im Vergleich zu unbehandelten PV-Modulen nur gerade 10 bis je nach Farbe 20 Prozent tiefer. Laut Umfrage würden Investoren und Architekten zu Gunsten der Gestaltungsfreiheit aber bis zu 30 Prozent Leistungsverlust akzeptieren.

Die erste Fassade mit individuell gestalteten Panels ist an einem Mehrfamilienhaus in Basel im Rahmen einer Gesamtsanierung realisiert. Gleichzeitig wurde auch das Dach mit dem gleichen Modultyp ausgestattet. Erste Resultate zeigen, dass diese Fassadenanlage über das Jahr einen besser ausgeglichenen Ertrag leistet als die Dachanlage. Im Winter bringt die Fassade immerhin noch die Hälfte der Sommerleistung. Zum Vergleich leistet die Dachanlage im Winter lediglich einen Viertel der Sommerleistung.

Die Herausforderungen liegen nun bei der Standardisierung des Verfahrens zur individuellen Gestaltung, um schneller und kostengünstiger arbeiten zu können. Dabei wird auch eine Halbautomation ins Auge gefasst.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Inhaltsverzeichnis	4
1 Ausgangslage	6
2 Grundlagen - Randbedingungen	6
3 Ziele des Projektes	6
4 Konzept und Projektbeschreibung	7
5 Technische Vorstudie	8
5.1 Vorgehen und Methode	8
5.2 Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse	8
5.2.1 Auswahl geeigneter Verfahren und Farben	8
5.2.2 Test auf Glaskörper	11
5.2.3 Optischer Test auf PV-Panels	12
6 Gestaltung und Akzeptanz	13
6.1 Vorgehen und Methode	13
6.2 Ergebnisse	13
6.2.1 Architekten, Planern und Investoren	13
6.2.2 Stadtbildkommission	14
6.2.3 Weitere Meinungen	14
7 Risiko und Garantien	15
7.1 Vorgehen und Methode	15
7.2 Ergebnisse	15
8 Testreihe Wirkungsgrad / Materialbelastung	16
8.1 Vorgehen und Methode	16
8.1.1 Paneltypen	16
8.1.2 Oberflächenbehandlung für jeden Paneltyp	17
8.1.3 Messanordnung Dachlabor	18
8.1.4 STC Messung (Flash)	18
8.2 Ergebnisse	19
8.2.1 Einschränkungen	20
9 Realisierung am Bauobjekt	22
9.1 Vorgehen und Methode	22
9.1.1 Stadtbildkommission und Bewilligung	24
9.1.2 Herausforderung der Produktion	25
9.2 Ergebnisse	25
9.2.1 Kosten PV-Fassade und Behandlung	25
9.2.2 Leistungswerte innerhalb der Fassade (oben/unten)	26
9.2.3 Auswertung der Messdaten Sommer / Winter	27
9.2.4 Voraussichtlicher Jahresertrag	28
10 Nationale Zusammenarbeit	30
10.1.1 Suche nach geeigneten Partnern	30
10.1.2 Einbindung von Stakeholdern in die Entwicklung	30
10.1.3 Kommunikation	30
10.1.4 Eine kleine Übersicht der durchgeführten Öffentlichkeitsarbeit	31



11	Internationale Zusammenarbeit	31
12	Schlussfolgerungen und Ausblick	32
12.1	Schlussfolgerungen	32
12.2	Ausblick	35
13	Anhang	37
13.1	Messkonzept auf Glasmuster	37
13.2	Messkonzept auf Testmodulen	39
13.3	Resultate der Messung auf dem Dachlabor	40
13.4	Steckbrief MFH Dornacherstr. 109 / Solothurnerstr. 62 in Basel	44



1 Ausgangslage

Architekten und Bauherren bezeichnen die limitierten Gestaltungsmöglichkeiten von Solarpanels als ihr grösstes Hindernis, mehr Photovoltaik-Anlagen in Baukörper von Wohn- und Geschäftshäusern integrieren zu können. Die bisher auf dem Markt angebotenen Solarzellen - egal ob auf neutralem oder farbigem Glas - haben dieselbe stets uniform erscheinenden Oberflächen. Der Fokus des vorliegenden Projektes liegt auf der Erschaffung neuer Gestaltungsformen, um den Einsatz der Photovoltaik als Element des Designs für Architekten und Planer zu erweitern oder ästhetische Ansprüche in sensiblen Zonen zu erfüllen.

Solarpanels werden heute in Millionen Stückzahlen produziert. Gegen die grossen, weltweit operierenden Hersteller hätte eine Neuproduktion von Panels kaum reelle Chancen auf dem Markt. Die Idee des Projektteams war deshalb, marktgängige Panels nachträglich je nach Wunsch des Bauherrn mit einem individuellen Design versehen zu können. Dabei soll ein «Customizing» einer Massenware entwickelt werden, das erst am Ende des Produktionsprozesses erfolgt.

2 Grundlagen - Randbedingungen

Die Technologie der Glasbearbeitung bietet bereits ein breites Spielfeld der Formen und optischen Erscheinungen. Es lag deshalb auf der Hand, die Technologie dieser Branche mit derjenigen der Photovoltaik zu kombinieren. Das Ziel war also, Lösungen zu finden, wie zwei etablierte Verfahren - die Produktion von Standard-Solarpanels und die Glas-Oberflächenbehandlung - zusammengeführt werden können. Damit sollte künftig für jedes Gebäude eine individualisierte Oberflächengestaltung ermöglicht werden. Als Trägermaterial sollten Standard-PV-Gläser verwendet werden, die auf dem breiten Markt erhältlich sind.

3 Ziele des Projektes

Mit umfangreichen Vorarbeiten sollten die Grundlagen bezüglich der Anwendbarkeit und der Wirkungsverluste von Oberflächenbehandlungen auf PV-Modulen erforscht werden. Künftig soll für neue Designs bereits im Vorfeld abgeschätzt werden können, welche Oberflächenbehandlungen auf dem Solarglas geeignet sind und mit welchen Wirkungsverlusten zu rechnen ist, resp. welche maximale Flächenanteile die Struktur vertretbar abdecken darf. Dies sind wichtige Voraussetzung dafür, dass z.B. Architekten die individuelle Gestaltung einer Fassade mit PV-Modulen überhaupt erst in Betracht ziehen und dabei eine realistische Kosten- und Risikoabschätzung für ihre Investoren und Bauherren vornehmen können.

Parallel zur Entwicklung und Prüfung der Verfahren war ein Stakeholder-Dialog geplant, in dem ausgewählte Architekten, Fassadenplaner, Investoren, die Stadtbildkommission Basel-Stadt und der Denkmalschutz ihre Wünsche und Vorstellungen anbringen konnten. Damit soll sichergestellt werden, dass Designtechniken marktgerecht ausgerichtet werden. Gleichzeitig soll der Dialog im umgekehrten Weg der Verbreitung dieser neuen Ideen in die Kreise künftiger Anwender dienen.

Anschliessend sollen ausgewählte Designs im konkreten Einsatz an mehreren Bauobjekten grossflächig realisiert und getestet werden.



4 Konzept und Projektbescrieb

Das Pilotprojekt wird in folgenden Phasen abgewickelt:

Technische Vorstudie	<ul style="list-style-type: none">• Auswahl geeigneter Verfahren• Testreihe auf Glasmuster• Ausarbeitung Messkonzept
Gestaltung und Akzeptanz	<ul style="list-style-type: none">• Stakeholder-Dialog mit Architekten, Investoren, Stadtbildkommission, Denkmalschützer• Aufgabenstellung 5 typologische Gebäude• Anforderungen an Gestaltung definieren
Risiko und Garantien	<ul style="list-style-type: none">• Garantieabklärungen Modulhersteller• Abklärungen Baujuristen• Selektion Hersteller, Erarbeitung Ausschreibekriterien
Wirkungsgrad und Materialbelastung	<ul style="list-style-type: none">• Design 5 x 5 Module gemäss Anforderungskatalog• Ausführliche Messreihe, externe Prüfung von Anlage und Messkonzept• Sicherstellung der Aussagekraft, der Validierbarkeit und Neutralität
Realisation an Bauobjekt	<ul style="list-style-type: none">• Grossflächige Bemusterung am Bauobjekt• Evaluation durch Stakeholder• Realisation der kompletten PV-Anlage



5 Technische Vorstudie

5.1 Vorgehen und Methode

In der technischen Vorstudie werden geeignete Verfahren der Oberflächenbehandlung und die geeigneten Farben ausgewählt und anschliessend auf Glasmuster hinsichtlich der Lichtdurchlässigkeit getestet.

Anschliessend erfolgen die Tests auf Photovoltaikpanels (siehe Projektphase 4 „Wirkungsgrad und Materialbelastung“, Punkt 2.4 Testreihe Wirkungsgrad / Materialbelastung). Bei diesen Tests auf den Photovoltaikpanels werden Entdeckungen gemacht, welche uns veranlasst haben, weitere Farben und Oberflächenbehandlungen in der „Technischen Vorstudie“ zu prüfen. Dieses iterative Vorgehen hat sich bewährt.

5.2 Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

5.2.1 Auswahl geeigneter Verfahren und Farben

Erst gilt es, die geeigneten Glasbearbeitungsverfahren zu selektionieren und in einer mehrstufigen, teilweise iterativen Versuchsreihe zu testen und auszuwerten.

Mechanische oder chemische Glasoberflächenbehandlung

Folgende mechanische oder chemische Glasoberflächenbearbeitungen werden in einer ersten Versuchsreihe hinsichtlich Eignung für PV Module geprüft:

Ätzungen:

Für PV Module nicht geeignet sind Ätzungen wie z.B. Flusssäure, weil die Metallrahmen und Unterkonstruktion angegriffen werden oder ein Sicherheitsabstand zu den Rändern eingehalten werden muss, welcher eine vollflächige Bearbeitung ausgeschlossen hat. Ausserdem wird die Oberfläche nicht genügend aufgeraut, um die entsprechende Wirkung in der Aufsicht zu erzeugen. Zudem erweist sich die Haftung der Farben als ungenügend.

Abrassiven Verfahren wie Sandstrahlen:

Hingegen erweist sich die Strahlung mit **abrassiven Medien** als grundsätzlich geeignet. In verschiedenen Versuchsreihen zeigt sich, dass die härtesten Strahlmaterialien die besten Resultate liefern: durch den starken Aufprall wird die Oberfläche am stärksten aufgerissen, was zur besten Lichtstreuung führt und zur besten Einbettung der aufzutragenden Farben. Wir empfehlen deshalb Edelkorund (Aluminiumoxid mit Chromoxidanteil) als Strahlmaterial dem normalen Korund vorzuziehen.



Ein weiterer Vorteil von Edelmetall sind längere Standzeiten, d.h. das Material kann mehrfach recycelt werden, da der Bruch linear erfolgt und nicht abstumpft, also die Schneidfähigkeit beibehalten wird.

Ein zentrales Merkmal abstrahierender Strahlungen ist die Reduktion der Reflexion bis hin zu einer gänzlichen Mattheit der Glasoberfläche. Oberflächen ohne Spiegelungen sind enorm wichtig für die Eingliederung der PV Panels ins Ortsbild resp. für eine breite gesellschaftliche Akzeptanz.

Auf dem Markt ist eine Vielzahl von Korngrößen abstrahierender Materialien erhältlich. Versuche mit den verschiedenen Körnergrößen bewirken verschiedene Reflexions- und Lichttransmissionswerte.

Aus den Erfahrungen der ersten Messreihen (Glasmuster im Labor und PV-Module auf dem Dachlabor) verfolgen wir in der Forschung gezielt weitere Möglichkeiten in der Sandstrahltechnik, um den Lichttransmissionsgrad weiter zu verbessern.

Einzelne Module werden absichtlich nicht ganz deckend gestrahlt, um verschiedene mögliche Muster und Dekors zu erhalten (z.B. Wellenlinien, Blätter). Bei diesen Modulen ist die gemessene Leistung nahezu verlustfrei. Ziel ist es nun bei nahezu gleicher Optik einen **viel besseren Lichttransmissionsgrad** und damit eine höhere Effizienz im PV Modul zu erreichen.

Bildgebende Verfahren

Prinzipiell ist immer ein partielles Abdecken der Oberfläche notwendig, um ein Sujet zu erzeugen (gestrahlte versus ungestrahlte Stellen). Folgende bildgebende Verfahren werden für die Anwendung auf PV Panels geprüft:

Abdeckverfahren:

- Sandstrahlfolien ausgeschnitten: hat sich als geeignet für grossflächige, scharfkantige Bilder, Schriften etc. erwiesen. Das Verfahren ist weitgehend bekannt.
- Serigraphie mit einer strahlresistenten Abdeckfarbe: Hat sich für Serienproduktionen als geeignet erwiesen.
- Plot auf Glas: bedingt Spezialplotter und Spezialfarben (Mischung Marc Weidmann). Der grosse Vorteil ist, dass jedes Panel mit unterschiedlichem Motiv bedruckt werden kann, sobald die Einstellungen der Maschinen einmal erfolgt sind. Hat sich für kleine Serien oder für Schriftzüge, die über mehrere Panels laufen, als geeignet erwiesen. Die Bedruckung dient als Abdeckung.
- manuelle Intervention (Abdrucke von eingefärbten, unregelmässigen Oberflächen, direkt mit Pinsel, etc.): durch die naturgegebene Unregelmässigkeit der Struktur erachten wir dieses Verfahren besonders für Fassadengestaltungen als geeignet. Dabei weist jedes Panel eine kleine Variation auf und sorgt damit für eine „glaubwürdige Patina“, Eigenschaften, welche gerade von Architekten und Stadtbildkommissionen gewünscht werden.

Durchstrahlschablonen:

- Schablone wird fix in die Strahl-Maschine montiert, das Panel läuft durch. Es hat sich gezeigt, dass eine serielle Produktion ist für grossflächige Bauten möglich ist.



Aufsetzverfahren:

- Schablone sitzt auf Objekt und läuft mit dem Panel durch die Maschine. Durch eine Fotomechanische Herstellung der Schablone (Belichtung) ist praktisch jedes Sujet applizierbar. So ist es zum Beispiel wie in der Abb.2 möglich, PV Panels mit dem Design von Holzstrukturen zu versehen.



Abb.2: „Holz macht Strom“: PV Panel mit Holzstruktur auf Wunsch der Denkmalpflege Wallis im Aufsetzverfahren hergestellt

Farben

Bei der Vorauswahl zu testender Farben werden sämtliche Mischungen für Glasoberflächen in die erste Versuchsrunde einbezogen, sofern sie folgende Voraussetzungen erfüllen:

- Sie haben bisherige Langzeittests bezüglich Witterungs- und Sonnenexposition bestanden. Ausserdem müssen diese über eine hohe Durchsichtskraft verfügen. Stupfe oder milchig-trübe Farben werden hingegen nicht berücksichtigt. Sie würden den Solarertrag unnötig schmälern.
- Der Auftrag muss im Kaltverfahren möglich sein. Aufträge, die mit Hitze appliziert werden wie z.B. Keramik-Farben zerstören die photosensitive Schicht der PV-Panels und kommen daher nicht in Frage. Damit die Farben überhaupt auf der Glasoberfläche haften, werden diese immer in Kombination mit Sandstrahlungen unterschiedlicher Ausprägungen vorgenommen.

Versiegelung

Es werden drei Versiegelungen getestet:

- Versiegelung ATW 1 (Mischung Marc Weidmann) eine Applikation auf Wasserbasis mit Silanen. Weist hinsichtlich der Durchsichtskraft im Vergleich mit den zwei anderen Versiegelungen die schlechtesten Werte auf (siehe Resultate der Glasmustermessung). Aber der Einfluss auf die Durchsichtung ist so gering, dass die optischen Vorteile wie z.B. gute Farbabbildung überwiegen.
- Versiegelung ATW 2 (Mischung Marc Weidmann) eine Applikation auf Lösungsmittel-basis mit Siloxanen.
- Versiegelung ATW 3 (Mischung Marc Weidmann) weist hinsichtlich der Durchsichtskraft im Vergleich mit den zwei anderen Versiegelungen die besten Werte auf. Aber die Beeinträchtigungen der Versiegelungen sind allgemein so gering, dass die optischen Nachteile wie Farbverblassung auf PV Panels die Vorteile nicht Wett machen.



5.2.2 Test auf Glaskörper

In der ersten Versuchsreihe werden die ausgewählten Farben und drei Versiegelungsgemische hinsichtlich ihrem Transmissionsverhalten getestet. Der Test erfolgt auf 4 mm dicken Floatgläsern, welche den handelsüblichen PV Gläsern entsprechen (Abb.3). Die Muster werden in ein handliches Format 20 cm x 30 cm geschnitten.

Für die Messungen hat sich als geeigneter Partner das Human Digital Lab der Universität Basel unter der Leitung von Dr. Peter Fornaro erwiesen (Mess-konzept siehe Kapitel Anhang 13.1).

Diejenigen Farben und Versiegelungen, welche in diesem Test weniger als 20 % Lichtabsorption aufweisen, werden für die weiteren Tests priorisiert. Damit die Farben überhaupt auf der Glasoberfläche haften, werden diese immer in Kombination mit Sandstrahlungen unterschiedlicher Ausprägungen aufgebracht.



Abb.3: Glasmuster der ersten Testserie, partiell rückseitig dunkel beschichtet.

5.2.3 Optischer Test auf PV-Panels

Anschliessend werden die Farben auf PV-Panels aufgetragen und einer optischen Wirkungskontrolle unterzogen. Leider muss bei etlichen Farbtypen ein erheblicher Rückschlag in Kauf genommen werden: Was auf den Testgläsern auf schwarzem Hintergrund noch eine durchaus ansprechende optische Wirkung erzielt hat, wirkte auf den PV Panels manchmal extrem düster. **Die Farben „versumpften“ oder kommen überhaupt nicht mehr zur Geltung.** Der Effekt verstärkt sich zusätzlich mit der Dicke des Farbauftrages.

Wie in Abb.4 dargestellt, liegt die Erklärung für diesen Effekt wohl darin, dass bei einer reinen Sandstrahlung die Lichtreflexion direkt auf der sonnenzugewandten Seite auf der Oberfläche der Mikro-Fraktur entsteht. Dadurch wird die bestrahlte Oberfläche weiss bis leicht grau. Bei einer anschliessenden Einfärbung der Glasoberfläche werden diese Mikro-Frakturen durch Farbmasse aufgefüllt, so dass die Reflexion auf der zur Sonne zugewandten Seite entfällt.

Stattdessen findet eine Lichttransmission durch den Glaskörper statt, die bis auf der Sonne abgewandte Glasseite führt, wo nun eine Grenzschicht-Reflexion auftritt. Deshalb wirken Farbaufträge auf Glasmuster selbst vor dunklem Hintergrund trotzdem ansprechend. Beim Auftrag auf PV Panels entfällt aber die Grenzschicht-Reflexion. Stattdessen absorbiert die photoaktive Schicht nahezu das ganze einfallende Licht, weshalb die aufgetragenen Farben fürs menschliche Auge kaum mehr wahrnehmbar sind.

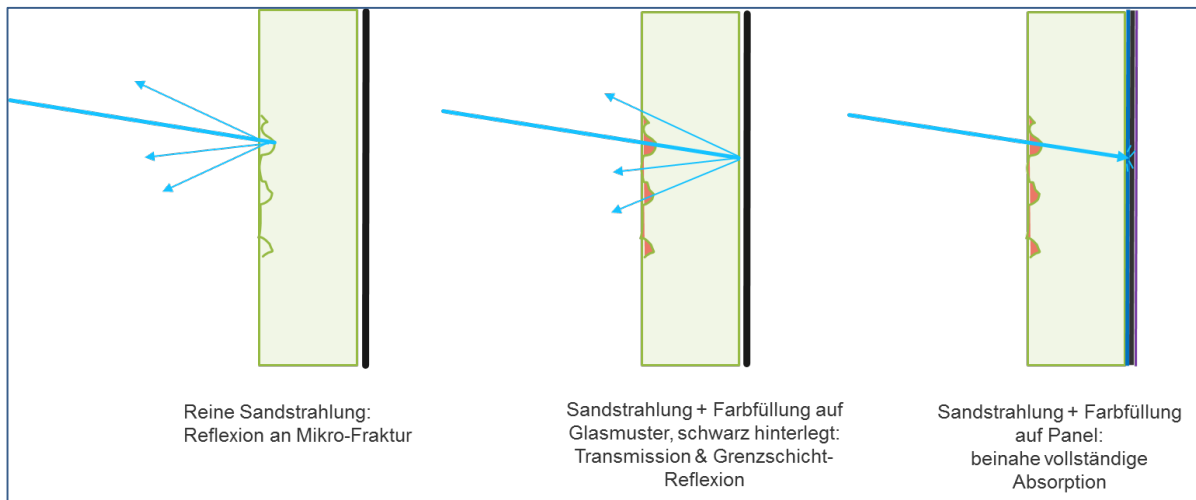


Abb.4: Mögliche Erklärung, warum gewisse Farbtypen auf PV Panels optisch „versumpfen“

Entwicklung neuer Farbrezepturen

Basierend auf diesen Ergebnissen wird nach neuen Farbrezepturen gesucht, welche einerseits eine gewisse Durchscheinungsfähigkeit aufweisen, trotzdem aber eine Lichtreflexion in der gewünschten Farbe aufweisen. Mit neuen Farbmischungen kann der Versumpfung entgegen gewirkt und schöne Ergebnisse erzielt werden.



6 Gestaltung und Akzeptanz

6.1 Vorgehen und Methode

Regionale Entscheidungsträger auf Seiten Planer, Investoren und Behörden werden eingeladen Ihre Einschätzung bezüglich Anwendung und Gestaltung abzugeben und somit auf die Entwicklung der Panels Einfluss zu nehmen.

Ausserdem wird die Basler Stadtbild-kommission über das Projekt informiert und ihre Einschätzung im Rahmen eines Treffens eruiert.

Am mehrstündigen Workshop vom 02.02.2016 „Neues Design für PV Panels“ nehmen 24 Personen teil. Vorgängig haben sie einen Umfragebogen ausgefüllt und eingesandt, um die Diskussionen zielgerichtet führen zu können.



Abb.5: Sounding Board. Architekten, Planer und Investoren äussern sich zum Projekt

6.2 Ergebnisse

6.2.1 Architekten, Planern und Investoren

Zusammenfassung der wichtigsten Anforderungen der Anwesenden zum Projekt

- Zentral sind gleichwertige Erstellungskosten im Vergleich zu anderen Fassadensystemen.
- Wenn die Gestaltung ansprechend und interessant ist, werden sogar Wirkungsverluste bis 30% von vielen Architekten und Bauherren in Kauf genommen. Ein Spitzenertrag ist nicht zwingend.
- Designs, welche andere Materialien imitieren (z.B. Holz- und Rauputz-Imitate, etc.) finden in der Diskussion kaum Akzeptanz. „Das wirke wenig überzeugend und künstlich“.
- Erwünscht sind Oberflächenbehandlungen die dem Material Glas gerecht werden oder hinter denen ein künstlerischer Aspekt steht.
- Wichtig, dass Panel-Lieferanten auch nach fünf Jahren noch defekte Panels austauschen können.
- Aus der Sicht der Architekten, Investoren und Planer sollten Photovoltaikanlagen an Gebäuden der Gründerzeit, historischen oder denkmalgeschützten Objekten nicht verwendet werden.
- Ein zentrales Anliegen ist, dass PV-Module künftig in individuellen Massen und Proportionen erhältlich sind. Wünschenswert ist daher ein Industrieprodukt, welches an den Bau angepasst wird.
- Ein Katalog der Behandlungsmöglichkeiten resp. visuellen Gestaltungsbausteinen (Farbe, Dichte, Struktur etc.) wäre interessant und eine Arbeitshilfe. Nicht erwünscht ist hingegen ein Katalog von möglichen Designs. Die Entwicklung des Designs ist die Aufgabe des Architekten im Dialog mit dem Bauherrn (und den Bewilligungsbehörden).
- Nur die Oberflächenbehandlung zu betrachten, genügt nicht. Erwünscht ist ein „Gesamtkatalog für PV-Systeme“, nicht nur das äussere Erscheinungsbild. In diesem müsste neben Farben und Oberflächenbehandlungen auch die resultierenden Leistungs- und Ertragszahlen quantifiziert sein.



6.2.2 Stadtbildkommission

Die Stadtbildkommission ist eine vom Regierungsrat Basel-Stadt bestellte, administrativ dem BVD zugeordnet Kommission. Sie überprüft im Rahmen der Baubewilligungsverfahren die Baugesuche auf ihre städtebauliche und architektonische Qualität. Deshalb kommt der Einschätzung dieses Gremiums ein besonderes Gewicht zu, wenn es gilt, die künftige Ausrichtung des Designs resp. deren Realisierungs-Chancen in Basel-Stadt abzuschätzen.

Die Besprechung vom 26. Januar 2016, 16:00 Uhr mit der Stadtbildkommission hat ein Abtasten von möglichen Kriterien zur Gestaltung von PV-Panels sowie mögliche Standorte von Anlagen an Gebäuden zum Ziel. Anwesend sind:

Prof. Dr. Martin Steinmann, Architekt, Präsident der Stadtbildkommission
Mathis Müller-Ulrich, Fachsekretariat der Stadtbildkommission, Architekt
Jürg Degen, Mitglied der Stadtbildkommission, Architekt
Martin Gruber, Leiter ENERGIE IMPULSE Gewerbeverband BS
Markus Bloch, Architekt und Energieberater

Folgende Rückmeldungen erfolgen seitens der Kommissionsmitglieder:

- Sie sehen bei Sanierungen grundsätzlich grössere Schwierigkeiten als bei reinen Neubauten, wenn PV-Panels in Fassaden integriert werden sollen.
- Problematisch sind PV-Anlagen oft dann, wenn sie bloss in die Fassaden „hineingeklebt“ wirken und nicht Teil einer integrierten Gesamtgestaltung sind. Oder mit anderen Worten: wenn die Fassaden nur als Träger von PV-Elementen dienen, statt dass die Panels als Teil einer bewussten Gestaltung verwendet werden. Die bewusste Gestaltung kann also kaum die blosser Nutzung von „Restflächen“ zu Zwecken der Stromerzeugung bedeuten.
- Grundsätzlich sollen Gebäude mit Fassaden PV zum Charakter ihres Umfeldes passen, genauso wie alle anderen Fassadentypen eines Hauses zum weitem Umfeld passen müssen. Dieselbe Frage stellt sich auch bei anderen Materialien, ob z.B. eine zur Diskussion stehende Blechfassade für ein Wohnhaus immer noch den Charakter eines Wohnhauses vermittelt und ob dieser Aspekt zum Wohnquartier passt.
- Imitationen von Materialien oder Strukturen wirken selten gut. Der bessere Ansatz ist, wenn eine Struktur darauf abzielt, eine ähnliche Wirkung zu entfalten wie das, was ersetzt oder ergänzt werden soll. Beispielsweise Eigenschaften wie „Wärme“, „ein gewisses Mass an Rauheit“ „lebendige Fassade“, etc. Dabei soll sich die Logik der neu gewählten Struktur aus der Glastechnik selber ergeben. Das Glas darf nicht einfach als „Tapete“ missbraucht werden. Der Einsatz von Bildchen wie Keramikplatten, Backsteine etc. würde aus der Stadt ein Fotoalbum machen.

6.2.3 Weitere Meinungen

Die oben erwähnten Ansichten der Baufachleute sind situationsbezogen zu werten. Bei einem Bauprojekt in Chäserstatt (VS) werden von den lokalen Behörden und dem Bauherren explizit zur besseren Integration in die Berglandschaft Holzimitate für die geplante Fassadenphotovoltaikanlage gewünscht (siehe Abb.2 „Holz macht Strom“).



7 Risiko und Garantien

7.1 Vorgehen und Methode

Verschiedene Produzenten werden kontaktiert und mit Ihnen versucht bezüglich der Risiken und Garantieansprüche eine Übereinkunft zu finden.

7.2 Ergebnisse

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt lassen sich die Importeure und Produzenten von Solarpanels nicht zu einer Stellungnahme hinsichtlich Garantien bewegen. Es hat sich in verschiedenen Gesprächen gezeigt, dass zuerst die konkreten Resultate des Versuchs vorliegen müssen, bevor Verhandlungen über Herstellergarantien sinnvoll sind.

Aus diesem Grund wird diese Projektphase in geringerem Umfang bearbeitet. Grundsätzlich müssen Garantieleistungen zum Sicherheitsglas von den Herstellergarantien über die Energieerträge unterschieden werden. Wir gehen davon aus, dass eine Wiederaufnahme der Verhandlungen sinnvoll sein wird, sobald ein paar Jahre Erfahrung mit Oberflächenbehandelten Fassadenkraftwerken als Diskussionsgrundlage dienen können.



8 Testreihe Wirkungsgrad / Materialbelastung

8.1 Vorgehen und Methode

Ziel dieser Projektphase ist es, an ausgewählten Beispielen von gestalteten PV-Panels die Auswirkungen der Oberflächenbehandlung auf die Modulleistung zu prüfen. Dies als Basis für die Wahl des geeigneten Designs, welches am Demonstrationsprojekt Dornacherstrasse in Basel in grossem Massstab realisiert wird. Ausserdem dienen die Resultate als eine Art „Katalog“ für interessierte Bauherren und Investoren, welche Art von Oberflächendesigns möglich sind und mit welchen Ertragsseinbussen sie in etwa rechnen müssen.

Als Energie- und Ertragsreferenz dient jeweils ein ausgemessenes Referenzmodul je Modultyp. Mit dieser Anordnung kann für jeden einzelnen Modultyp eine Aussage gemacht werden, wie sich die Oberflächenveränderung auf den jeweiligen Modultyp auswirkt. Ziel ist es, den verursachten Minderertrag zu erfassen, um diese Resultate auch an andere Standorten adaptieren zu können. Mit den Wetterdaten von Meteotest oder anderen lokaler Meteostationen können diese aber auch mit den absoluten Werten der Globalstrahlung vor Ort verglichen werden.

Nach der Durchführung der Referenzmessung wird eine erste Serie von Oberflächenbehandlungen durchgeführt und anschliessend werden die Leistungsdaten erneut über mehrere Wochen gemessen. An Hand der übereinander gelegten Ertragskurven aus dem Solaredge-Portal können die Differenzen als Folge der Oberflächenbehandlung berechnet und interpretiert werden.

8.1.1 Paneltypen

Um eine breite und möglichst umfassende Antwort auf die Wechselwirkung der Oberflächenbehandlung auf die Modulleistung zu erhalten, werden unterschiedliche Modultypen gewählt. Als Vertreter der Standardtechnologie (polykristallines gerahmtes Modul) wird ein Produkt von Yingli gewählt. Weiter wird ein Hochleistungsmodul von Panasonic berücksichtigt sowie zwei Vertreter der CI(G)S-Technologie: Solar Frontier als grösster Hersteller von CIS-Modulen und Avancis als Unternehmer mit langjähriger Erfahrung im Bereich CIS.

Als Grund für die Übervertretung der CIS-Module sind die Erfahrung und das Wissen über die Verschattungstoleranz dieser Technologie und der damit verbundenen Vermutung, dass diese Module eine geringere Leistungseinbusse infolge der Oberflächenveränderung ausweisen.

Die Testreihe besteht aus 4 Standardmodulen / -typen, die am Markt erhältlich sind. Von jedem Typ werden je 8 Module verwendet. Folgende 4 Paneltypen werden getestet:

- Solar Frontier SF155-S, 155Wp (CIS-Module)
- Avancis PowerMax 3.5, 135Wp (CIGS-Module, rahmenlos)
- Yingli Energy, YL255P-29b, 255Wp (polykristalline Module)
- Panasonic HIT VBHN240SJ25, 240Wp (monokristallines Hochleistungsmodul)

Pro Modultyp werden jeweils 8 Module bereitgestellt. Fünf für den ersten Durchlauf, zwei für den zweiten Durchlauf um ein iteratives Vorgehen zu ermöglichen. Ein Modul dient als Ersatzmodul.

8.1.2 Oberflächenbehandlung für jeden Paneltyp

Jede Oberflächenbehandlung wird an allen 4 Modultypen (siehe 8.1.1, Seite 16) angewendet.

Folgende Oberflächenbehandlungen werden in zwei Messreihen getestet:

- Vollflächige Sandstrahlung sowie Versiegelung. Bezüglich Strahlungsintensität und Korngrösse wird die Kombination mit der höchsten Transmissionsrate aus dem Vorversuch ausgewählt.
- Querstreifen in horizontalen oder vertikalen Wellen auf 50% der Fläche. Das Ziel ist eine willkürliche Verschattung, die nicht systematisch immer den gleichen Anteil einer Zelle abdeckt.
- Nur Längsstreifen (dito oben).
- Vollflächige Sandstrahlung, anschliessend eingefärbt in den Farben rot, blau, grün und gelb, sowie einer Versiegelung.
- Ein Modul dient jeweils als Referenz und bleibt unbehandelt.

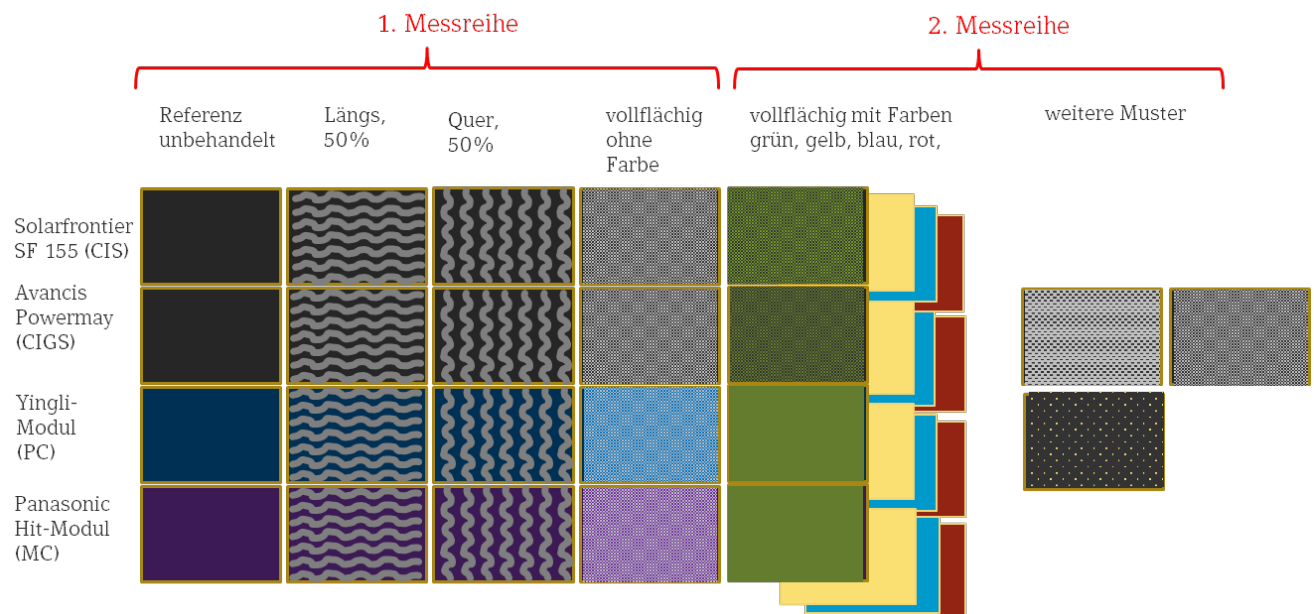


Abb.6: Schema der ersten und der zweiten Messreihe auf dem Dachlabor

Technische Umsetzung der Oberflächenbehandlung

Die möglichen Oberflächenbehandlungen sind oben ausführlich beschrieben.

Für den Versuchsaufbau werden die vollflächigen Oberflächenbehandlungen sowie die horizontalen und vertikalen Wellenmuster mit der gleichen Sandstrahlung durchgeführt.

Die Mustergebung erfolgt über Siebschablonen im Aufsetzverfahren.

Die Einfärbung der ganzflächig behandelten Module erfolgt mit organischen Farbtönen.

Die Versiegelung erfolgt mit ATW 1 (Mischung Marc Weidmann) eine Applikation auf Wasserbasis mit Silanen.



8.1.3 Messanordnung Dachlabor

Es wird ein möglichst betriebsnaher Versuchsaufbau an einem realistischen Einsatzort gewählt. Daher erfolgt die Montage der Testanlage verschattungsfrei an der Südfassade (-5° von Süd / 90° Neigung) der Solvatec AG in Basel. Für jedes Modul wird ein Optimizer (Typ P405 Add-On) und je String ein Wechselrichter (Typ SE 3000) der Firma Solaredge angeschossen, welcher die Leistungsdaten im 5 Minuten Takt erfasst. Die Messung erfolgt mindestens über 14 Tage. Eine genaue Positionsmarkierung je Modul garantiert, dass jedes Modul nach der Behandlung wieder an den genau gleichen Platz montiert wird. (Elektroschema siehe Anhang)

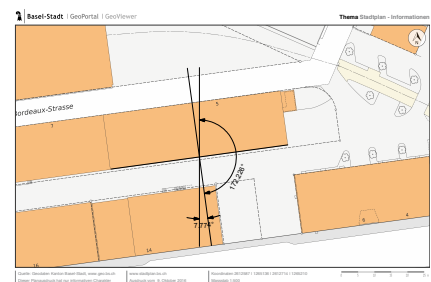


Abb.7: Aufbau der Testanlage auf dem Dachlabor bei Solvatec AG

Abb.8: Ausrichtung Testanlage Solvatec

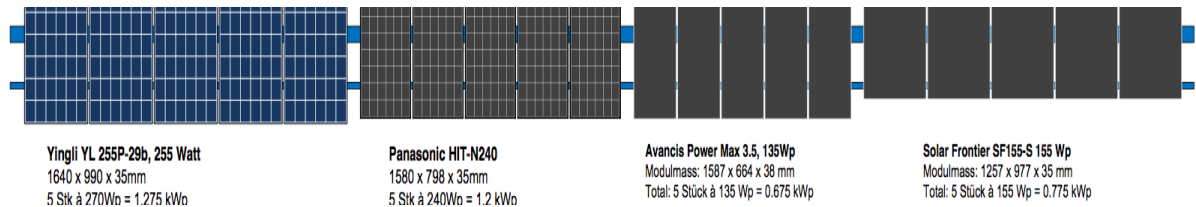


Abb.9: Anordnung der Module auf der Testanlage Solvatec AG



Abb.10: Farbige vollflächige PV-Panels im Test, Dachlabor Solvatec AG



Abb.11: Montage Testanlage Solvatec

8.1.4 STC Messung (Flash)

Um den Einfluss der Oberflächenbehandlung der Photovoltaikmodule auf ihre genaue Leistung zu prüfen, werden alle Panels zusätzlich zur Langzeitmessung anhand einer STC-Messung (Flash) beurteilt. Diese Messungen finden am 16.02.2017 in Arnhaus statt.



8.2 Ergebnisse

Resultate Einfluss der Oberflächenbehandlungen

Beurteilungen der Messresultate (Abb.12 und folgende, weitere Details im Anhang 13.3)

- Die Resultate zeigen, dass die Ertragswerte bei allen Oberflächenbehandlungen durch geeignetes Sandstrahlen nur geringfügig abnehmen. Die Unterschiede zum Referenzmodul liegt stets unter 10 % Wirkungseinbusse (zwischen 0.5% und 8.6 %).
- Vertikale Wellenmuster erzeugen leicht geringere Ertragsverluste als horizontale Wellenmuster.
- Bei vertikalen Wellenmustern hat eines der vier Modultypen sogar höhere Ertragswerte geliefert. Eine eindeutige Erklärung hierfür kann nicht gefunden werden. Ein Grossteil der gemessenen Abweichungen infolge der Oberflächenbehandlung mit Sandstrahlen liegt innerhalb der Moduleistungstoleranz der Hersteller.
- Der Einstrahlwinkel (zur Senkrechten auf die Modulfläche) verändert die oben erwähnten Resultate nicht oder zumindest nicht statistisch relevant.
- Vollflächig aufgetragene Farben führen ebenfalls zu erfreulich geringen Ertragseinbussen. Im Wesentlichen liegen die Ertragseinbussen unter 15 % bei den Farben gelb und rot, sowie unter 20 % bei grün und blau. Einzig blau zeigt bei Panasonic und Yingli Panel etwas höhere Einbussen.

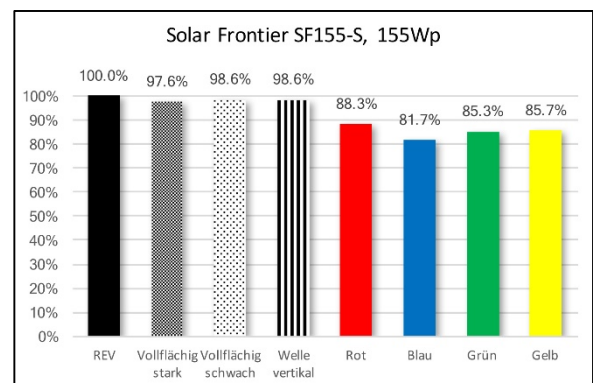
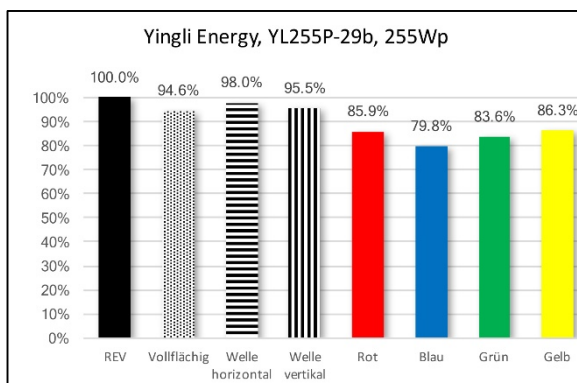
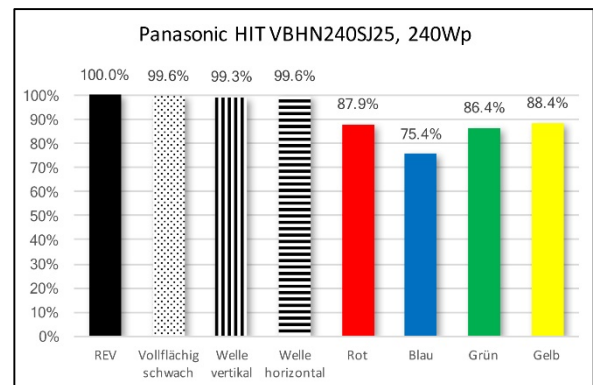
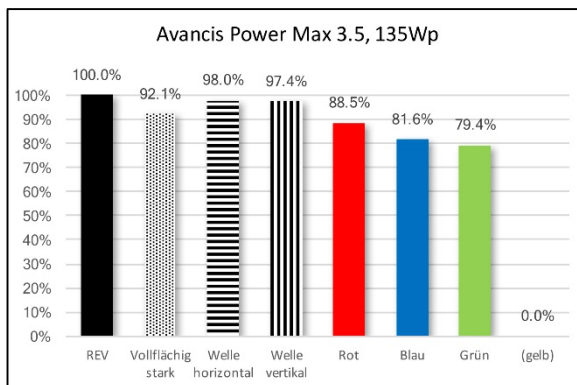


Abb.12.,.13.,.14.,.15: Vergleich der Flash Resultate



8.2.1 Einschränkungen

Mit vergleichsweise bescheidenen Projektmitteln wird eine breite Palette von möglichen Designs mit einer vertretbaren Fehlertoleranz gemessen, statt nur Einzelne mit höchster Genauigkeit. Deshalb wird jedes Design nur einmal pro Modultyp produziert ($n=1$). Produktionsbedingte Toleranzen von üblicherweise 2-5% in der Leistung der Module (Angabe Hersteller) sind in den Resultaten daher nur bedingt berücksichtigt. Die Ertragseinbussen fallen im Flash Test (Abb.12ff, Seite 10) etwas geringer aus als auf dem Dachlabor. Möglicherweise ist dieser Effekt auf Messungenauigkeiten aus unterschiedlich getakteten Datenloggern der Optimizer und Wechselrichter zurückzuführen.

Vor der Behandlung werden alle Module der Messreihe auf dem Dachlabor der Solvatec über ca. 2 Wochen installiert und unter gleichen Bedingungen gemessen. Die dargestellten Messwerte (Abb.16) entsprechen dem Tagesertrag im Verhältnis zum Mittelwert des jeweiligen Modultyps an 4 ausgewählten Tagen (viel, mittel, wenig Sonne und bewölkt).

Die tatsächlich gemessenen Unterschiede der unbehandelten Module hat uns überrascht. Die nachstehenden Messresultate veranschaulichen die effektiven, produktionsbedingten Toleranzen der unbehandelten Module gleichen Typs (Abb.17 und Abb.18, Seite 21).

Die Resultate variieren von ca. $\pm 5\%$ (sonniger Tag) bis ca. $\pm 15\%$ (diffuser Tag).

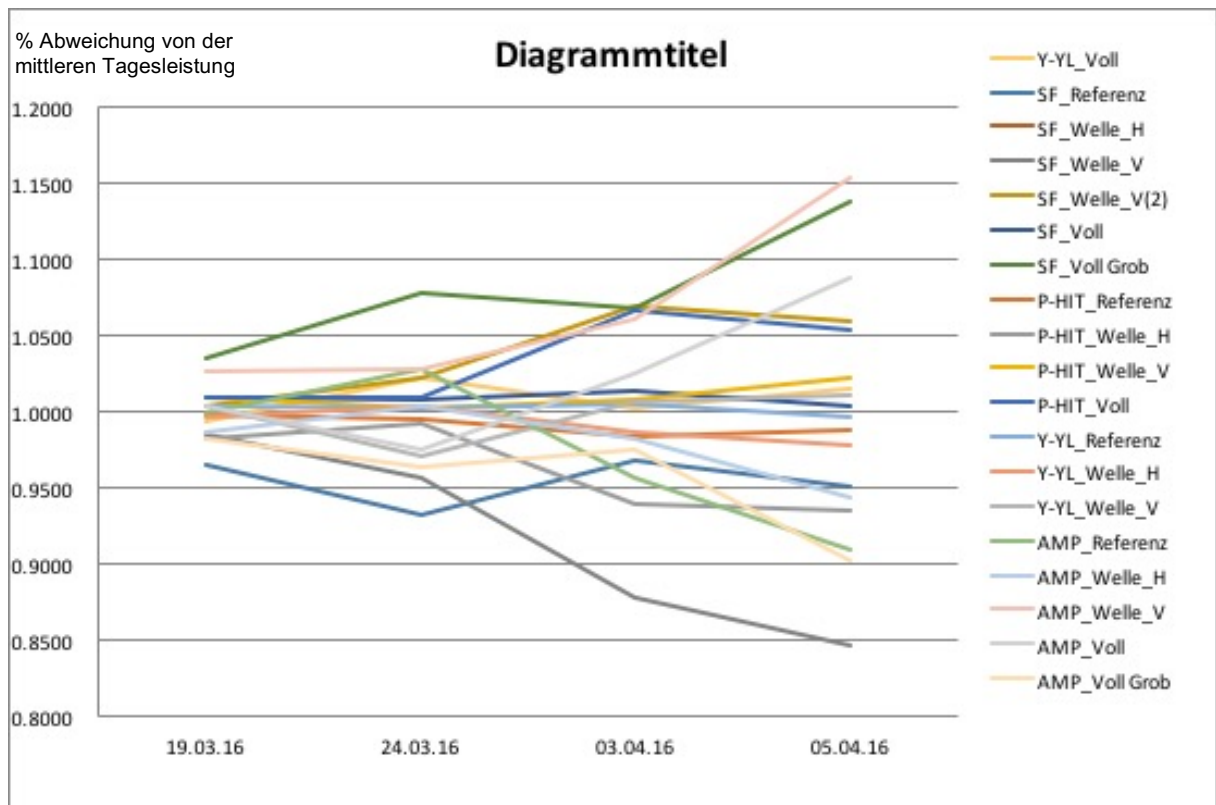


Abb.16: Streuung der Messungen unbehandelter Module an 4 Tagen (viel, mittel, wenig Sonne und bewölkt)

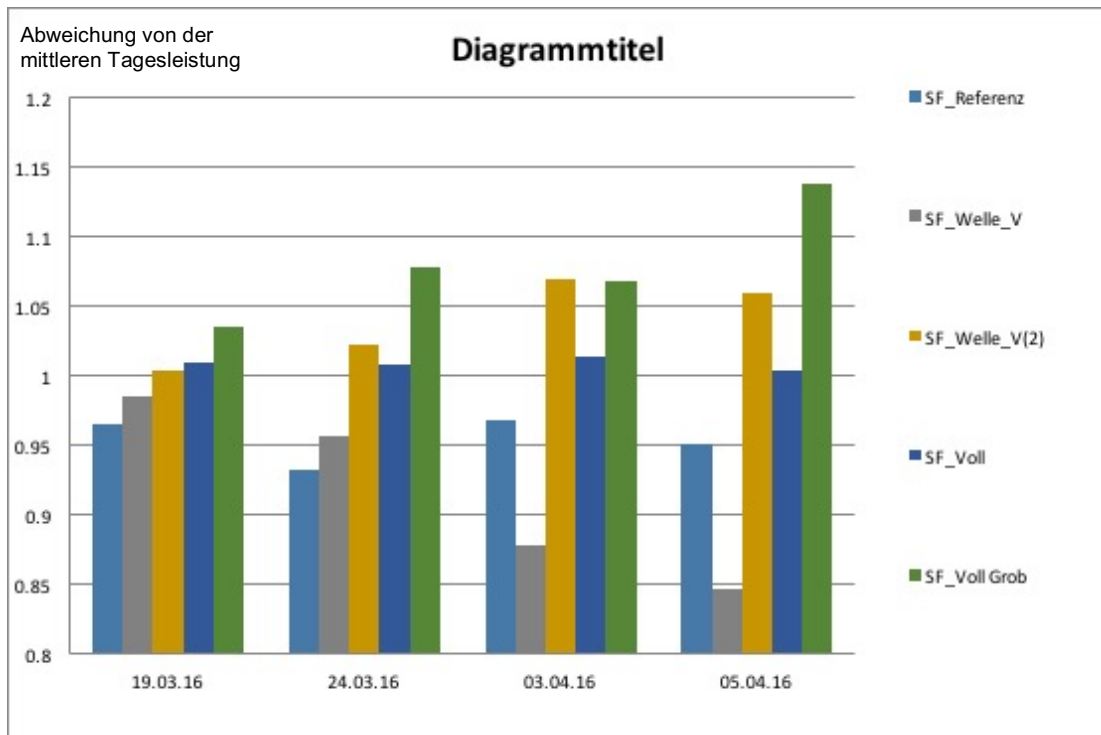


Abb.17: Unterschiede in der Tagesleistung unbehandelter Module von Solar Frontier SF155-S (CIS)

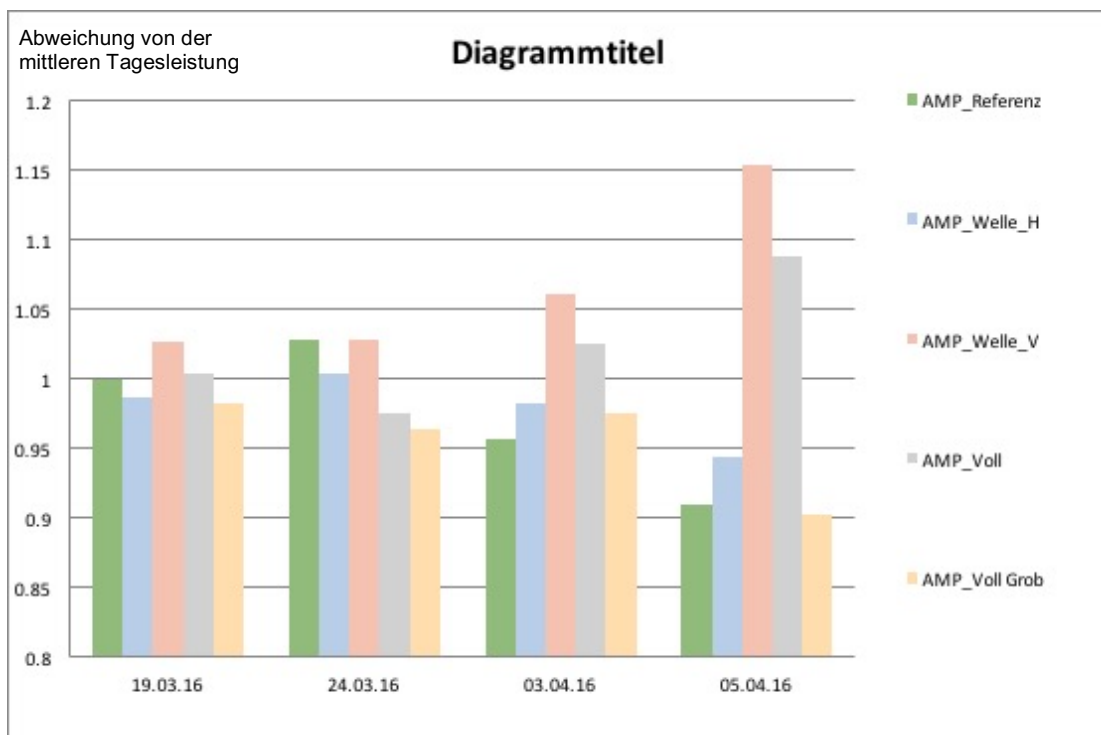


Abb.18: Unterschiede in der Tagesleistung unbehandelter Module von Panasonic HIT VBHN240SJ25 (monokristallin)



9 Realisierung am Bauobjekt



Abb.19 und 20 : Luftaufnahme und Strassenfassade der Fassade des Pilotprojekt MFH Dornacherstrasse 109 in Basel

Kennzahlen Gebäude

Parzellenfläche	Parz. Nr. 3 / 1406	1795 m ²
Volumen	beheizt Wohnen 1.- 5.OG teilbeheizt Gewerbe Tankstelle EG unbeheizt Einstellhalle, Keller UG	12255 m ³
Geschossflächen GF	EBF Wohnen 1.- 5.OG EBF Gewerbe EG	4336 m ² (variabel) 997 m ²
Gewerbe (geschlossene Räume)		
Gebäudehülle	Thermische Gebäudehüllfläche 1.-5.OG Gebäudehüllzahl	4040 m ² 0.72

9.1 Vorgehen und Methode

Die erste Fassade mit individuell gestalteten Modulen wird an der Eckliegenschaft Dornacherstr. 109 / Solothurnerstr. 62 in Basel realisiert. Die PV-Fassade ist Teil einer umfassenden energetischen Gesamtanierung, bei der auch die Wärmedämmung der Strassenfassade verbessert und die Leitungsführung für eine Komfortlüftung integriert wird. Zusätzlich wird eine PV Anlage auf dem Dach installiert und auf dem Dach über den hofseitigen Attikaterassen kommen durchsichtige PV Module zur Anwendung. Die ganze Sanierung ist in mehrere Phasen etappiert und wird voraussichtlich 2020 mit der Dämmung der Hoffassade vollendet (Etappierung und Pläne siehe Anhang 13.4, Abb.52)

Kennwerte der Solaranlagen

(gemäss Berechnungen Swiss Solar City)

Anlage	Fläche	Leistung	Ertrag p. Jahr (voraussichtlich)
Dach	481 m ²	64.7 kWp	67'500 kWh/a
Pergola	82 m ²	9.9 kWp	8'500 kWh/a
Fassade	350 m ²	47.0 kWp	23'500 kWh/a
Gesamt	913 m²	121.6 kWp	99'500 kWh/a



Layout Solaranlagen Dach Glasdach Attikaterasse Hofseite

Auf dem Hauptdach als Aufdachlösung realisiert, haben die 4 Felder jeweils eine andere Ausrichtung.

Das Glasdach über der Hofseitigen Terrasse ist als Integrierte Anlage gebaut.

Solar Frontier SF155-S, 155Wp (CIS-Module)

Anlage	Ausrichtung	Neigung	Leistung
Dach 1	210° SW	26°	25.4 kWp
Dach 2	120° SO	26°	11.9 kWp
Dach 3	300° NW	26°	8.9 kWp
Dach 4	30° NO	26°	19.8 kWp
Glasdach	300° NW 30° NO	10° 10°	9.8 kWp

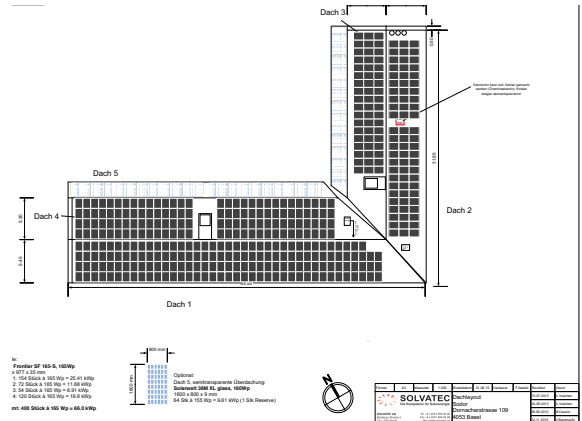


Abb.21 : Layout Solaranlagen Dach und Glasdach hofseite

Layout Solaranlagen der Strassenfassaden

Die Abwicklung der Fassade ist in je 2 Bereiche pro Ausrichtung auf die Wechselrichter aufgeteilt. Je 2 Module hängen an einem Leistungsoptimierer, um die Probleme der Verschattungen zu vermindern.

Solar Frontier SF155-S, 155Wp (CIS-Module)

Anlage	Ausrichtung	Neigung	Leistung
String 1.1	210° SW	90°	14.0 kWp
String 1.2	210° SW	90°	14.0 kWp
String 2.1	120° SO	90°	10.7 kWp
String 2.2	120° SO	90°	8.3 kWp

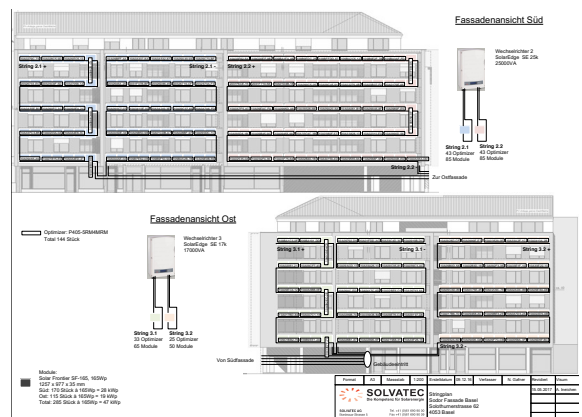


Abb.22 : Layout und Stringplan Solaranlage an der Fassade



Abb.23: Dämmung im Bau mit integrierter Komfortlüftung



Abb.24 : nach Verkleidung



Abb.25 : Überdachung hofseitig mit PV-Modulen



9.1.1 Stadtbildkommission und Bewilligung

Die Gestaltung der PV-Module zeigt sich als grosse Hürde. In mehreren Gesprächen wird mit der Stadtbildkommission Basel-Stadt ein Konsens gesucht. Architekt und Bauherr hätten gerne ein mutigeres und moderneres Design umgesetzt, können dies aber bei der Stadtbildkommission nicht durchsetzen.

Nicht alles was möglich ist, wird auch bewilligt.

Das gewünschte Design (Abb.26), welches auf dem Dachlabor gute Ertragswerte zeigt, wird von der Stadtbildkommission wegen seiner Bildhaftigkeit abgelehnt. Der zweite Entwurf (Abb.27), ein vollständig abstrakt gehaltenes, regelmässiges Muster, wird ebenfalls auf dem Dachlabor getestet und anschliessend der Kommission vorgestellt. Obwohl die vorgängig gemachten Auflagen eingehalten sind, wird das Design wegen „optischer Tiefenwirkung“ abgelehnt. Statt dessen wird eine flächige und zurückhaltende Gestaltung gefordert (definitives Design Abb.28).



Abb.26 : Erster Entwurf



Abb.27 : Abgelehntes Design

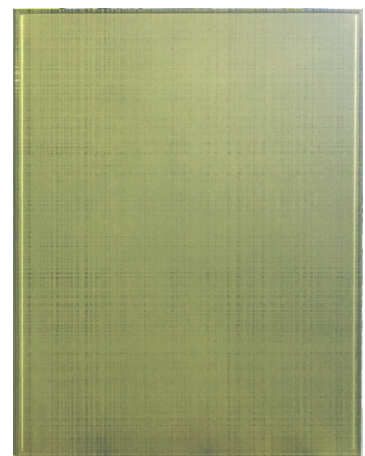


Abb.28 : Ausgeführtes Design

Eigenschaften des definitiven Designs

Auf Grund der starken Terminverzögerungen und der drohenden KEV-Reduktion bei späterer Inbetriebnahme muss im Eilverfahren mit einer ungeprüften Farbkombination versucht werden, den Anforderungen der Behörden nachzukommen. Die Module mit dem definitiven Design werden daher erst nachträglich auf dem Dachlabor Solvatec getestet.

Es zeigt sich, dass sie etwas unter den Erwartungen und Möglichkeiten liegen. Die gleichen Modultypen von Solarfrontier (siehe Abb.12,.13,.14,.15: Vergleich der Flash Resultate) der Testserie erfahren eine Leistungsreduktion von ca. 15% bei vollflächigem Farbauftrag in den Farben grün oder gelb.

Die an der Fassade des Pilotprojektes verwendeten, behandelten Module weisen gemäss nachträglicher Messung einen Leistungsverlust von ca. 25% auf. Dies ist möglicherweise auf einen Farbzusatz zurückzuführen, der verwendet wird, um den von der Stadtbildkommission gewünschten Farbton zu erreichen.



9.1.2 Herausforderung der Produktion

Die Produktion der ca. 280 behandelten Module ist ein erster Test für auch grössere Objekte. Dabei bleibt die Gewährleistung einer gleichbleibenden Qualität und Optik in der Arbeitsweise einer Manufaktur eine echte Herausforderung.

Das abrasive Verfahren des Sandstrahlens auf die Siebstruktur erfordert die mehrfache Erneuerung der Vorlagen. Im Verlauf der Produktion verändert sich das Resultat trotzdem immer ein wenig.

Der manuelle Farbauftrag ist ebenfalls ein Faktor, der vom jeweiligen Bearbeiter abhängig ist.

Dank der Erfahrung und dem hohen handwerklichen Können der Mitarbeiter im Atelier Weidman ist das Resultat qualitativ hochstehend und optisch ansprechend.

9.2 Ergebnisse

9.2.1 Kosten PV-Fassade und Behandlung

Die Gegenüberstellung einer konventionell hinterlüfteten Fassade zu einer PV-Fassade ist an diesem Pilotprojekt aus verschiedenen Gründen nicht möglich, bzw. wäre nicht repräsentativ. Die Gründe liegen in folgenden Themen:

- In der Sanierung fallen zusätzliche Kosten an die Anpassung vor Ort und an bestehende Bauteile, die sich nicht genau beziffern lassen (z.B. unterschiedliche Niveaus in Abweichung der Planvorlagen, statische Anpassungen für die Erdbbensicherheit)
- Keine Vergleichskosten für andere Fassadensysteme mit gleichen Voraussetzungen (An- und Abschlussbleche, verschiedene Ebenen in der Fassade, Mischung Kompakt und Glas-Fassade)
- Einbau Komfortlüftung in die Dämmebene der Fassade, inkl. Aufhängung und Unterkonstruktion

Um einen Vergleich der Kosten oder Mehrkosten zu anderen Fassadensystemen zu erreichen müssen verschiedene Fassadensysteme in allen Details geplant und durch Unternehmer gerechnet werden (z.B. Betonelemente, Eternitfassade, etc.). Dies ist aus zeitlichen und finanziellen Gründen nicht möglich.

Die Kosten pro m² für die Bearbeitung der gestalteten Module (exkl. Modul, Montage, etc.) bewegen sich je nach Design und Anzahl Arbeitsschritte ab ca. 150 CHF für einfache und bei ca. 250 CHF für komplexe farbige Strukturen, wie an diesem Pilotprojekt.

Ein optisch gutes Resultat wird mit Verwendung des günstigen gerahmten Moduls (ca. 150 CHF pro m²) auch erreicht. Damit liegen die Kosten für die Module und die Behandlung bei ca. 400 CHF / m².

Eine wesentliche Erkenntnis aus diesem Projekt ist, dass für den gewünschten Vergleich der Wirtschaftlichkeit komplexer Fassadensysteme spezialisierte Fassadenbau-Firmen zugezogen werden müssten. Diese verfügen eher über die Erfahrungswerte, um solche Vergleiche zuverlässlich zu erstellen.



9.2.2 Leistungswerte innerhalb der Fassade (oben/unten)

In Abb.29 sind die Unterschiede der Tageserträge am 16. Juni 2017 auf die verschiedenen Bereiche und Lage an der Fassade als Farben dargestellt. Die Farben gelb bis rot verdeutlichen die hohen solaren Gewinne an der Gebäudeecke, wie auch in grün die verminderten Erträge in den unteren Bereichen. Der Unterschied liegt ca. bei einem Faktor 1 : 4.

16.06.17 Auswertung Energie [Wh]

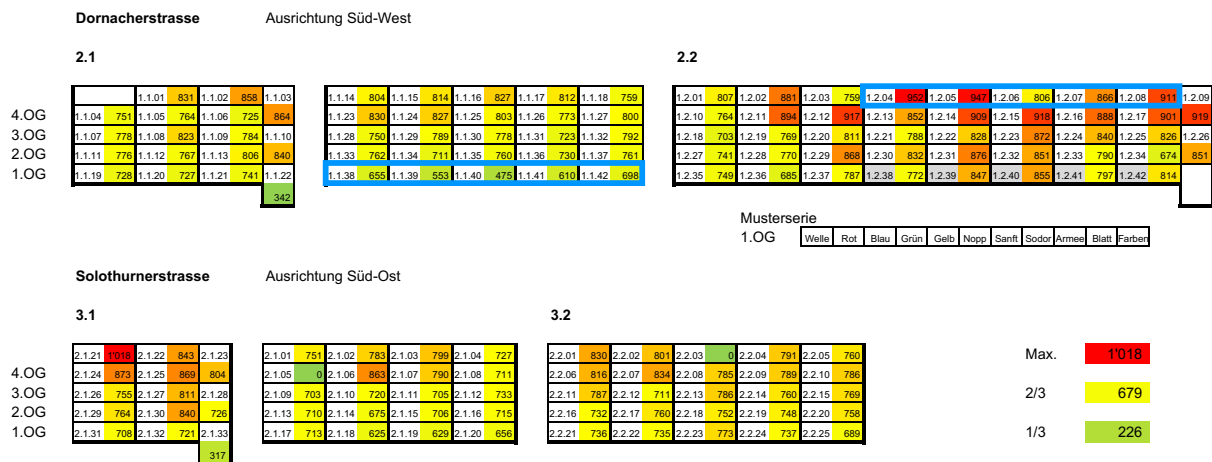


Abb.29 : Farbige Darstellung der unterschiedlichen Erträge an der Fassadenabwicklung (Messung vom 16.06.2017)

Bei Solarfassaden im Stadtgebiet wirken sich Verschattungen z.B. durch Nachbargebäude auf die unteren Bereiche aus. Der gemessene Unterschied des Ertrages wird an zwei Zonen verglichen (oben in Abb.29 blau eingerahmte). Der stärker verschattete Bereich erreicht noch ca. 66 % des Ertrages des weniger verschatteten Bereichs.

Messwerte oben (100 %)	4'482 Wh	Summe 10 Module im 5.OG , Ausrichtung SW
Messwerte unten (66 %)	2'992 Wh	Summe 10 Module im 1.OG , Ausrichtung SW
Sonneneinstrahlung	97700 Wh	Tageswert Einstrahlung x Fläche 10 Module

Verschattungen

Die Verschattungen durch Nachbargebäude, Bäume, sowie auch durch die vorspringenden Erker werden im Vorfeld zu verschiedenen Jahres- und Tageszeiten untersucht.



Abb.30: Untersuchung Sonnenverlauf und Verschattung (30.03., um 10:00h)

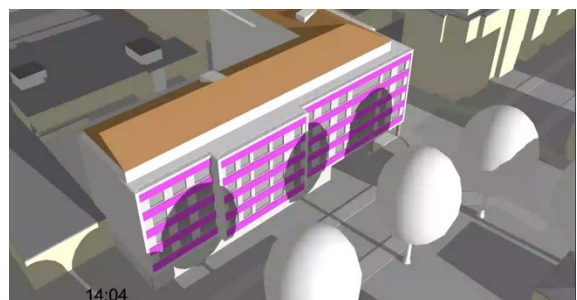


Abb.31 : Untersuchung Sonnenverlauf und Verschattung (30.12., um 12:00h)

9.2.3 Auswertung der Messdaten Sommer / Winter

Hinweis: Die Verfügbarkeit von Messdaten ist für eine umfassende Auswertung noch zu eingeschränkt. Einerseits stehen für die Fassade erst die Messdaten seit Inbetriebnahme am 31.03.2017 zur Verfügung, andererseits führten Probleme der Messplattform Solaredge zu Lücken in den Messreihen (Datenverlust in den Aufzeichnungen beim automatischen Systemupdate der Solaredges).

Für eine erste Betrachtung und Auswertung werden die verfügbaren Tagesmessungen je eines sonnigen, unbewölkten Tages im Sommer (07.08.2017) und im Winter (14.11.2017) verglichen. Die Messungen werden fortgesetzt und Ende 2018 ausgewertet (Abb.32 und Abb.33) .

Die anschliessenden Graphiken zeigen die Tages-Leistungskurven der 4 Wechselrichter, je zwei pro Ausrichtung der Fassade SO, SW. Darin ist unschwer erkennbar, dass die SW-Fassade nachmittags an einem Schönwettertag eine saubere Leistungskurve über den Tagesverlauf beschreibt, während der Leistungsverlauf an der SO-Fassade vormittags von sporadisch wandernden Schatten der gegenüber liegenden Nachbargebäude unterbrochen wird.

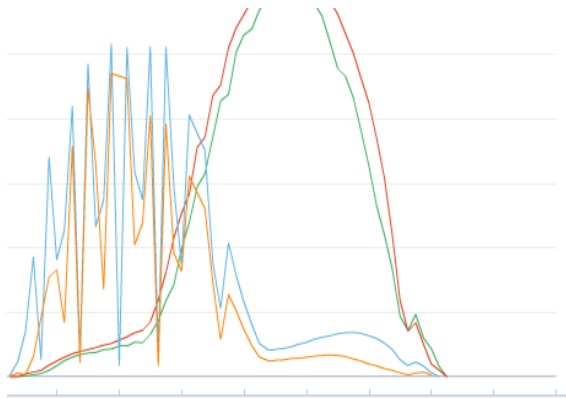


Abb.32: Gegenüberstellung der Leistungskurven der vier Strings im Sommer, je 2 Kurven Südost und Südwest

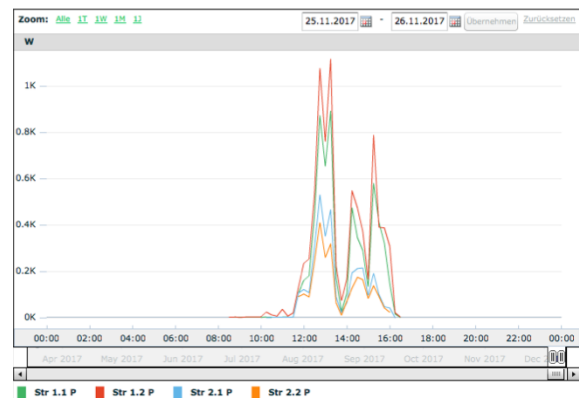


Abb.33: Gegenüberstellung der Leistungskurven der vier Strings im Winter, je 2 Kurven Südost und Südwest

Die Effizienz der Solaranlagen, bzw. der Vergleich zwischen Dach und Fassade ist nachstehend ausgewertet und dargestellt. Der gemessene Tagesertrag pro m² Solarpanel wird im Verhältnis zur Leistung der lokalen Einstrahlung der Sonne (Werte von Meteoblue) betrachtet.

- **Sommer**

Ertrag der Fassaden zum Ertrags des Daches	unter 50 %
Solarwirkungsgrad pro m ² Fassade / Dach	4.6 % / 11.3 %
- **Winter**

Ertrag der Fassaden zum Ertrags des Daches	über 80 %
Solarwirkungsgrad pro m ² Fassade / Dach	8.9 % / 10.8 %

Im Winter erreicht der Solarwirkungsgrad der Fassaden fast den des Daches. Mit anderen Worten: die nominelle Leistung der PV Fassade ist zwar generell tiefer als die der Dachanlage, aber der Sommer-Winterertrag ist ausgeglichener.



Allgemein		Fassade	Dach	Glasdach	Gesamt
Leistung		47 kWp	65 kWp	10 kWp	122 kWp
Typ		SF 165-S	SF 165-S	Solarwatt 36M XL	
Module		285 Stk.	400 Stk.	61 Stk.	746 Stk.

07.08.2017	daily sun (*)	Fassade	Dach	Glasdach	Gesamt
Ertrag [kWh]		216	753	97	1'066
spez. Ertrag [kWh/m ²]	7.30	0.34	0.82	0.67	
Solarwirkungsgrad [%]		4.6 %	11.3 %	9.1 %	

14.11.2017	daily sun (*)	Fassade	Dach	Glasdach	Gesamt
Ertrag [kWh]		99	187	12	298
spez. Ertrag [kWh/m ²]	2.39	0.21	0.26	0.08	
Solarwirkungsgrad [%]		8.9 %	10.8 %	(**) 3.2 %	

(*) daily sun, Werte von Meteo blue, Basel-Stadt

(**) durch Hauptdach stark verschattet bei flacher Einstrahlung

Abb.34 : Gegenüberstellung von Erträgen an zwei Tagen, gemäss Auswertung der Messdaten.

9.2.4 Voraussichtlicher Jahresertrag

Die berechneten Gesamterträge aller Anlagen über ein Jahr betragen 99.5 MWh (Angabe Betreiber).

Per Ende Nov. 2017 ergeben die Messungen über einen Zeitraum von 8-12 Monaten einen bisherigen Gesamtertrag von ca. 95 MWh, aufgeteilt auf die Anlagen:

• Dach	Messung 12 Monate	72.0 MWh
• Glasdach/Pergola	Messung 8 Monate (ab April 2017)	7.4 MWh
• Fassade	Messung 8 Monate (ab April 2017)	15.7 MWh
• Gesamtertrag		95.1 MWh

Mit den fehlenden Erträgen von Fassade und Glasdach/Pergola (4 Wintermonate fehlen) wird der berechnete Ertrag voraussichtlich mehr als erreicht.



Erste Resultate im Vergleich

Leistungsdaten aus der Messplattform für die Anlagen Hauptdach, Fassade und Glasdach (Pergola)

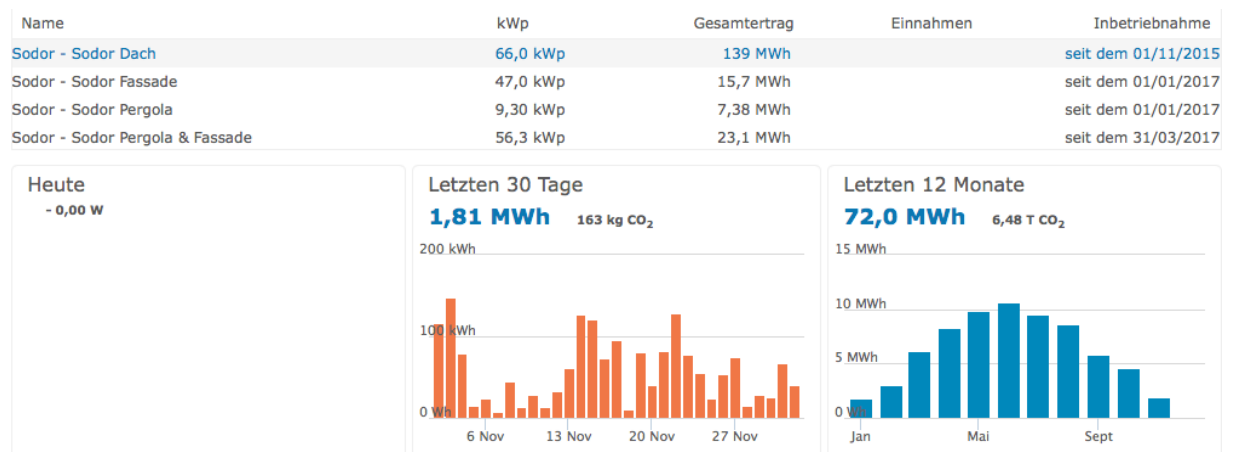


Abb.35 : Gesamterträge Hauptdach der Solaranlagen am Gebäude (Jahresrückblick 12 Monate)

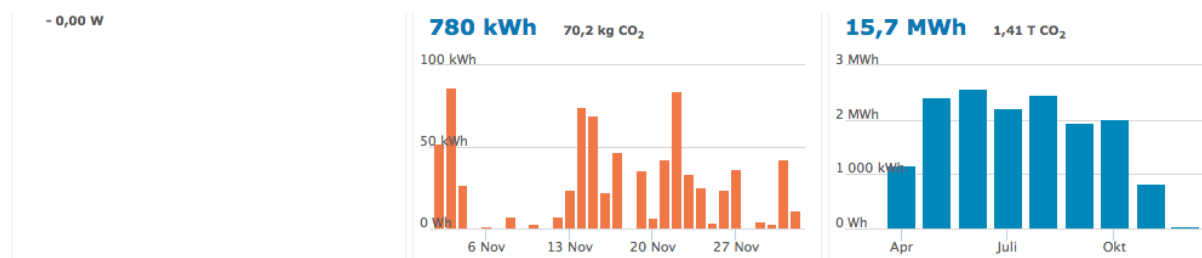


Abb.36 : Gesamterträge Fassade der Solaranlagen am Gebäude (Jahresrückblick 8 Monate)

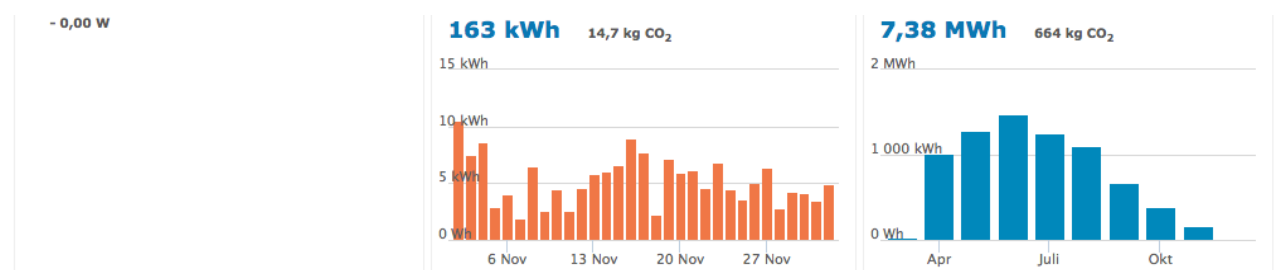


Abb.37 : Gesamterträge Glasdach (Pergola) der Solaranlagen am Gebäude (Jahresrückblick 8 Monate)



10 Nationale Zusammenarbeit

10.1.1 Suche nach geeigneten Partnern

Vor der Realisation des Bauobjektes resp. der Eingabe als P&D Projekt gilt es weitere Partner vom Vorhaben zu überzeugen und mit ins Boot zu holen.

Die Eigentümer der Liegenschaft Dornacherstrasse 109 in Basel, die Sodor AG erklärten sich bereit, im Rahmen einer Gesamtanierung auch einen Teil der Kosten im Rahmen der Fassadensanierung zu übernehmen, um auch die Fassade mit PV Panels bestücken zu können. Das verbesserte, moderne Erscheinungsbild des Gebäudes ist ein Mehrwert.

Die Investitionskosten für den Bau und Betrieb der PV-Anlagen übernahm ein externer Investor, die Swiss Solar City AG aus Basel. Die Finanzierung der Mehrkosten dieser Pilotanlage wird über Beiträge im Rahmen der Pilotregion Basel getragen.

10.1.2 Einbindung von Stakeholdern in die Entwicklung

Parallel zur Entwicklung und Prüfung der Verfahren findet ein Stakeholder-Dialog statt, in dem ausgewählte Architekten, Fassadenplaner, Investoren, Stadtbildkommission und Denkmalschutz ihre Wünsche und Vorstellungen anbringen können (siehe Kapitel 2.2). Dabei zeigt sich, dass ein eindeutiger Trend zu Individualisierung der PV Panels besteht und die neue Technik offene Türen einrennt. Gleichzeitig gehen aber die Ansichten, welches Design wünschenswert sei, weit auseinander.

10.1.3 Kommunikation

Ein wichtiges Ziel dieser Arbeit ist es, potentielle Investoren und Architekten, aber auch die breite Öffentlichkeit über die neuen Möglichkeiten von individuell designbaren Solarpanels zu informieren. Beim Fachpublikum und ihren Presseorganen ist das Interesse für die neue Technik recht gross. Entsprechend wird dem Thema Platz eingeräumt.

Hingegen bekunden die Medienschaffenden der Tagespresse oftmals Mühe, „individuelles Design von PV-Panels“ richtig einzuordnen. Dieses wird oft mit Panels aus „eingefärbtem Glas“ verwechselt, welche bereits auf dem Markt sind. Darum fällt die Berichterstattung eher zurückhaltend aus (abgesehen von Berichten in auflagenstarken 20 Minuten, Baublatt und Schweiz am Sonntag). In der Folge hat das Projektteam verstärkt auf die eigenen Informationsorgane des Gewerbeverbandes BS gesetzt.



10.1.4 Eine kleine Übersicht der durchgeführten Öffentlichkeitsarbeit:

Fachpublikum

- Ausstellung FHNW: Vom April – Juni 2017 werden ausgewählte Panels im den Räumlichkeiten des Institut Energie am Bau der Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW ausgestellt.
- Nationalen PV-Tagung: Vortrag an der 15. Nationalen PV-Tagung von Swiss Solar März 2017, Vorstellung der Technik und erste Resultate einem breiten Fachpublikum.
- Baubranche: Das Baublatt, Fachzeitschrift für die Baubranche, informiert sowie am 23. März 2017 online über die Technik und am 01. Dez. 2017 in ihrer Printausgabe über die Umsetzung am Objekt in Basel.
- Umweltarena: Ab Ende 2017 werden die individuell gestalten Panels im Rahmen einer Sondershow zusammen mit anderen innovativen Anbietern der Solarbranche in der Umweltarena in Spreitenbach ausgestellt. Die Sonderschau ist auf 3 Jahre angesetzt.
- Broschüre: Rund 100 ausgewählte Vertreter von Behörden, Hochschulen, Verbänden und interessierte Architekten werden persönlich angeschrieben und erhalten eine zusammenfassende Broschüre.
- Geplant ist noch ein Produktflyer mit technisch-wirtschaftlichen Angaben

Allgemeine KMU und Öffentlichkeit

- 4 Ausgaben des KMU News (jeweils 8000 Adressaten)
- 2 Ausgaben des KMU Magazin (alle Haushalte in Basel-Stadt)
- Schweiz am Sonntag vom 19. Juni 2016
- 20Minuten vom 22. März 2017
- Die Oberbadisch 30. März 2017
- Gundeldingerzeitung 05. April 2017
- Basler Zeitung Sonderbeilage vom 2. Juni 2017

11 Internationale Zusammenarbeit

Eine internationale Zusammenarbeit ist durchaus erwünscht und sinnvoll. Das Projektteam hat sich aber derzeit auf die nationale Bühne beschränkt. Wenn einerseits die Möglichkeiten, Risiken/Garantiefragen des Verfahrens, wie auch andererseits die Produktionskosten und Effizienz und für grössere Stückzahlen vollumfänglich erarbeitet sind und im Praxistest bestehen, sind auch international Kooperationen und Projekte anzustreben.

Verständlicherweise zurückhaltend sind wir in der Kommunikation und Offenlegung der technischen Angaben des Verfahrens. Hier ist der Urheberschutz und die Gefahr von Nachahmer gross. Entsprechend ist ein Patentschutz erforderlich, um die Entwicklungsarbeit vor Missbrauch zu schützen.

Eine enge Zusammenarbeit mit weiteren Forschungsstätten, anderen KMU's oder auch Hochschulen kann für die Auswertung der Messungen, Weiterentwicklung und rationelle Umsetzung des Verfahrens zukünftig von gegenseitigem Nutzen sein.



12 Schlussfolgerungen und Ausblick

12.1 Schlussfolgerungen

Ziel erreicht

Das Projektziel ist es, geeignete Methoden zu entwickeln, welche ein individuelles Design von Photovoltaik Panels ermöglichen. Dies, um den Einsatz der Photovoltaik als Element des Designs für Architekten und Planer zu erweitern oder ästhetische Ansprüche in sensiblen Zonen zu erfüllen. Dieses Ziel kann weitestgehend erreicht werden.

Mit vorliegender Entwicklungsarbeit ist es gelungen, die Technik der Glas Oberflächenbehandlung mittels Sandstrahlen und Einfärben auch auf die Anwendung an Photovoltaik Panels auszudehnen. Der Vorteil dieser Technik ist, dass kein Eingriff in die Produktion der Panels erforderlich ist, weil deren Oberflächen erst nachträglich bearbeitet werden. Es können also alle marktgängigen Panels verwendet werden. Auf diese Weise lässt sich ein kundenspezifisches „Customizing“ trotz Verwendung von Massenwaren in einem Markt verschiedener Anbieter realisieren. Gleichzeitig wird die Fehleranfälligkeit umgangen, welche sonst bei Kleinserien oder Neuentwicklungen von Photovoltaik Modulen häufig auftreten. Auch kann bei gleicher Gestaltung kurzfristig auf ein anderes Produkt ausgewichen werden, wenn Lieferschwierigkeiten auftreten, oder bessere Produkte zur Verfügung stehen.

Hervorzuheben ist, dass mit den eigenentwickelten Sandstrahltechniken eine unglaubliche Vielfalt von genau definierten - sprich replizierbaren - Strukturen möglich sind, welche das Antlitz jedes Gebäudes einzigartig machen. Der Phantasie der Designer und Architekten sind somit kaum Grenzen mehr gesetzt.

Nachteilig ist, dass teilweise Schablonen verwendet werden müssen, deren Lebensdauer durch die abrasive Sandstrahlung begrenzt sind und immer wieder ersetzt werden müssen. Dies verlangsamt den Produktionsprozess und beeinträchtigt ein gleichbleibendes Resultat. Für grossflächige Fassaden müsste deshalb eine eigene Produktionsstrasse entwickelt und aufgestellt werden. Im weiteren ist derzeit in diesem Verfahren aufwändig, mehrere Farben auf einem Panel anzuwenden.

Minimale Leistungsverluste

Sehr überzeugend sind die minimalen Leistungsverluste, welche durch die Gestaltung mittels Sandstrahlen in Kauf genommen werden müssen. Sie bewegen sich deutlich unter 10 % Verlust. Auch der vollflächige Farbauftrag führt nur zu sehr moderaten Verlusten von rund 20 %, abhängig von der Filterwirkung der verwendeten Farbe auf die Leistungskurve im entsprechenden Farbspektrum der jeweiligen Modultechnik.

An dieser Kernaussage ändern auch mögliche Messungenauigkeiten wenig. Wir bewegen uns bei den Leistungsverlusten bereits oft im Bereich der produktionsbedingten Toleranzen der Leistungswerte der Module. Unser Projekt ist praxisgetrieben und sucht nicht nach höchsten Messgenauigkeiten in einem Absatzmarkt, welcher dem Design einen höheren Stellenwert einräumt als maximalen Leistungszahlen.



PV Fassaden für ausgeglichene Jahreserträge

Die jahreszeitlichen Schwankungen, resp. die geringen Wintererträge werden im Rahmen der Energiewende immer wieder als Argument gegen die breite Anwendung der Photovoltaik ins Feld geführt. Vorliegende Ergebnisse zeigen aber eindrücklich, dass Fassadenkraftwerke einen deutlich ausgeglicheneren Jahresverlauf aufweisen, als Dachanlagen. Deshalb sollten künftig nicht nur die maximalen Leistungen als Bewertungskriterien für Installationsstandorte herangezogen werden, sondern gerade vor dem Hintergrund sinkender Preise für PV-Panels vielmehr auch ein ausgeglichener Jahresverlauf, der dem Bedarf der Stromnutzung zur jeweiligen Tages- und Jahreszeit entspricht.

Reduktion der Glasspiegelung

Ein weiterer Vorteil ist, dass Sandstrahlen die Glasspiegelung der PV-Module stark reduziert, bei vollflächiger Sandstrahlung sogar vollständig eliminiert. So werden die Fassadenpanels an der Liegenschaft Dornacherstrasse von Passanten gar nicht mehr als „Glas“ wahrgenommen (Abb.19). Gerade in denkmalgeschützten Zonen können damit relativ diskret PV-Panels installiert werden, ohne das Ortsbild zu stören. Ohne ein solch diskretes Äusseres, wie es zum Beispiel mit Holzimitaten am Projekt Chäserstatt exemplarisch vorgeführt wird, hätte die Walliser Baubehörde kaum eine Fassaden PV in der wertvollen hochalpinen Landschaft bewilligt (Abb.2).

Farbgebung hat noch mehr Potential

Als grosse Herausforderung hat sich das Einfärben der Panels herausgestellt. Die Farbe wird in kleinste Mikrovertiefungen der Korneinschläge eingebracht. Diese Methode weist eine hohe Wetterfestigkeit auf, wie die über 15-jährige Erfahrung mit entsprechend behandelten Gläsern im Aussenbereich gezeigt hat.

Aber im Gegensatz zur herkömmlichen Anwendung auf durchscheinenden Gläsern wird das Licht auf PV-Gläsern von der rückseitigen photoaktiven Schicht geschluckt und die Farben kommen nicht mehr zur Geltung. Der Einsatz von weissen Pigmenten - wie er bei Siebdruck Verwendung findet, wird verworfen, weil dadurch der Leistungsverlust der PV-Panels zu hoch wird.

Tatsächlich ist es am Ende gelungen, mit dem Einsatz von transluzenten Farbpigmenten relativ gute optische Wirkungen, bei gleichzeitig relativ geringen Leistungsverlusten zu erreichen. An dieser Stelle muss aber betont werden, dass das Entwicklungspotential für eine noch bessere Farbwiedergabe noch längst nicht ausgeschöpft ist.

Ein weiterer Schwachpunkt ist, dass die Farben von Hand eingearbeitet werden. Je nach Anwender erscheinen die Panels anschliessend in unterschiedlich intensiven Farbtönen. Eine Standardisierung der Einfärbung ist daher zwingend notwendig.

Kosten

Die Kosten pro m² für die Bearbeitung der gestalteten Module (exkl. Modul, Montage, etc.) bewegen sich je nach Design und Arbeitsschritte ab ca. 150 CHF für Strahlungen und ab ca. 250 CHF für zusätzlich farbige Strukturen, abhängig von der Wiederholbarkeit der Vorlagen, inkl. Vorlagen und Versiegelung. Ein grosses Portrait über eine ganze Fassade ist möglich, benötigt aber für jedes Modul eine eigene Vorlage und ist daher aufwändiger bzw. entsprechend viel teurer.

Wir sehen ein weiteres mögliches Effizienzpotential in der seriellen Fertigung bei entsprechenden Stückzahlen, um mit optimierten Abläufen und Arbeitsschritten zukünftig Erstellungskosten zu reduzieren.



Die Wahl des zu bearbeitenden PV-Moduls ist abhängig von der gewünschten Leistung und (derzeit noch) vom erhältlichen Format. Da auch gerahmte Module nach der Bearbeitung eine gute Optik erzielen, fallen hier wieder geringere Kosten in der Montage an.

Grundsätzlich zeigt dieser Pilotversuch, dass Fassaden-PV finanziell anders beurteilt werden als PV-Anlagen auf Dächern. Letztere müssen über die Einnahmen aus dem Stromertrag gerechnet selbsttragend sein. Hingegen stehen Fassaden-PV in Konkurrenz zu anderen, hochwertigen und teureren Fassadensystemen und -elementen aus Materialien wie Glas, Beton, Stein, Metall. Das bedeutet, dass bei Architekten und Immobilienbesitzern immer auch Überlegungen zum Design und zur Langlebigkeit im Verhältnis zu den Nettokosten gemacht werden. Der Zusatznutzen ist die Stromproduktion welche ökonomischerweise direkt im Gebäude genutzt wird.

Wert der Gestaltungsmöglichkeit

Noch ist nicht klar, wohin die Entwicklung gehen wird. Wird die maximale Freiheit bei den Gestaltungsmöglichkeiten künftig Vorrang haben? Oder werden die hier entwickelten Gestaltungsmöglichkeiten nur als teure Einzelanfertigungen verwendet? Wird die Wirtschaftlichkeit Überlegungen dominieren und die Individualisierung auf ein paar Modelle reduziert? Wo wird die optimale Balance beider Anliegen künftig sein?

Standardmasse als Hürde

Ausserdem hat der Pilotversuch gezeigt, dass die relativ geringe Auswahl an Standardmassen von PV Modulen eine grosse Hürde für die Anwendung an Fassaden von Neu- und geeigneten Altbauten darstellt. Selten passen die angebotenen Normen exakt auf die gegebene Masse von Brüstungsbändern und freien Flächen. Darum wünschen Architekten Angebote für die individuelle Anpassung von PV Panels (zumindest für die Randstücke) oder generell ein breiteres Norm-Angebot, damit eine flexiblere Planung möglich ist.

Konstruktive Abschlüsse sind bei allen hochwertigen, hinterlüfteten Fassadensystemen notwendig und fallen in der Regel etwa gleich aufwändig aus. Dasselbe gilt auch für Fassaden PV, ausser dass die Unterkonstruktion dort wegen der grösseren Ausladung, Sicherheit und Technik etwas anders dimensioniert ist.

Zu viele Akteure

Bei PV-Fassaden müssen nochmals mehr Akteure in die Konstruktion einbezogen werden, als bei herkömmlichen Fassaden (Elektriker, Solarteure, Modullieferanten und Oberflächenbehandler, Lieferanten von Montagesystemen, Isoleure, Spengler, Gerüstbau etc.). Aus unserer Sicht ist vor allem der dazu notwendige Koordinationsbedarf noch nicht etabliert, damit Fassadenbaufirmen künftig PV-Module genau gleich wie andere Elemente (Eternit, Blech, etc.) behandeln.

Ideal wäre, wenn künftig das Angebot von Fassaden PV aus einer Hand käme. Hier kommen dem Fassadenbauer und der Vorfabrikation in der Montagehalle die entscheidende Rolle zu.



12.2 Ausblick

Folgende Fragestellungen sollten aus der Sicht der Autoren weiter untersucht werden:

Potential der transluzenten Farben weiter erforschen

Die verwendeten Mischungen transluzenter Farben mit polarisierenden Einheiten erzeugen geringere Leistungsverluste als Verfahren, welche mit einem Aufdruck auf weiss pigmentiertem Hintergrund arbeiten – insbesondere bei hellen Farben auf den dunklen Modulen. Das Potential dieser Farben ist aber bei weitem nicht ausgeschöpft. Bei den Rezepturen stehen wir erst am Anfang und es muss zwingend weiter an den sich abzeichnenden Optimierungen geforscht werden: Einerseits muss künftig an der Farbintensität gearbeitet werden, welche heute nicht überall befriedigt. Andererseits weisen einige der Rezepturen ähnliche lichtbrechende und reflektierende Eigenschaften auf, wie die durch das Sandstrahlen aufgebrochenen Glasflächen. Es sind also noch geringere Leistungsverluste möglich, sofern sich die Eigenschaften der Farben in künftigen Tests als günstig erweisen bezüglich Farbintensität, hoher UV-Beständigkeit, Resistenz gegen Temperaturschwankungen, etc.

Spraystrahlung verfeinern

Weiter muss das Verfahren der selektiven Spraystrahlung weiter verfeinert und optimiert werden. Erste Versuche weisen darauf hin, dass Halbabdeckungen im Mikrometerbereich eine mögliche Lösung sein könnten. Diese Optimierung muss immer in Kombination mit der Verwendung transluzenter, reflektierender Pigmente vorangetrieben werden. Gleichzeitig muss das Sandstrahlverfahren so weiter entwickelt werden, dass die abrasive Begleiterscheinung reduziert und damit der Lebenszyklus der Schablonen verlängert werden kann.

In den Messungen der Testreihen stellten wir fest, dass einzelne Module nach der Bearbeitung höhere Leistungen aufwiesen. Falls die Gründe in der größeren Lichtstreuung durch die Sandstrahlung liegen, könnte dieser Effekt zur Kompensation der höheren Leistungsverluste bei Farben genutzt werden. Dies wäre aber noch genauer zu untersuchen.

Farbauftrag standardisieren

Der Auftrag der Farben in die Mikrovertiefungen muss künftig maschinell und damit standardisiert erfolgen. Bisher werden die Farben von Hand aufgetragen, was zu Unregelmässigkeiten führt, je nachdem, welcher Arbeiter die Farben aufträgt. Eine solche Maschine muss aber erst noch gefunden (oder konstruiert) werden und der Prozess muss sauber eingestellt werden.

Kostenreduktion durch serielle Fertigung

Die Kosten für die serielle Fertigung müssen reduziert werden. Es müssen Wege gefunden werden, wie die verschiedenen, zum Teil aufwändigen Verfahrensschritte schneller und kostengünstiger durchgeführt werden können. Das wird besonders bei grösseren Aufträgen wichtig. Dabei ist auch eine Halbautomation ins Auge zu fassen. U.a. sollen verschiedene industrielle Reinigungsmaschinen getestet werden.



PV Fassaden aus einer Hand ermöglichen

Für Architekten, Planer und Investoren muss die Anzahl der Akteure im PV Fassadenbau zwingend reduziert werden. Die Schnittstellenproblematik ist ein zentrales Hindernis, um PV in Fassaden zu verwenden. Dazu sehen die Autoren zwei erfolgsversprechende Wege:

- Künftig könnten Firmen, welche im Fassadenbau tätig sind auch PV Fassaden „aus einer Hand“ anbieten. Sie müssten dabei die Koordination der wichtigsten Akteure übernehmen oder gar inhouse beschäftigen. Dies würde den Auftraggebern erlauben, künftig rasch und unkompliziert Offerten einzuholen, welche den direkten Vergleich mit Fassaden aus anderen Materialien erlauben.
- Viele Generalunternehmen haben heute einige wenige Standardprodukte von Fassadenelementen in ihrem Portfolio, deren Anwendung sie bis ins Detail kennen. Dies gibt ihnen Planungs- und Kostensicherheit und garantiert ihnen kostengünstige Abläufe. Es wäre deshalb sinnvoll, an ausgewählten Objekten mit Generalunternehmern die Anwendung von Fassaden PV durchzuspielen. Dies setzt eine fundierte Planung voraus, damit die Kostenvariablen erkannt werden und die Anwendung für viele weitere Objekte in Zukunft zum Standard Repertoire gehören wird.

13 Anhang

Inhaltsverzeichnis Anhang

Zusammenstellung von ausführlicheren Grundlagenplänen und erwerterten Berechnungsdaten als separater Teil und zur Entlastung des Berichtes.

13.1 Messkonzept auf Glasmuster

Aufbau Messkonzept

Das Messkonzept wird unter Beizug von Prof. em. Dr. Ruedi Gschwind, Universität Basel erstellt. Bei der Evaluation der Messmethodik für Transmission auf Glasmuster wird darauf geachtet, ein möglichst kostengünstiges Verfahren zu finden, welches zeitnah umgesetzt werden kann und trotzdem eine grosse Aussagekraft erzielt.

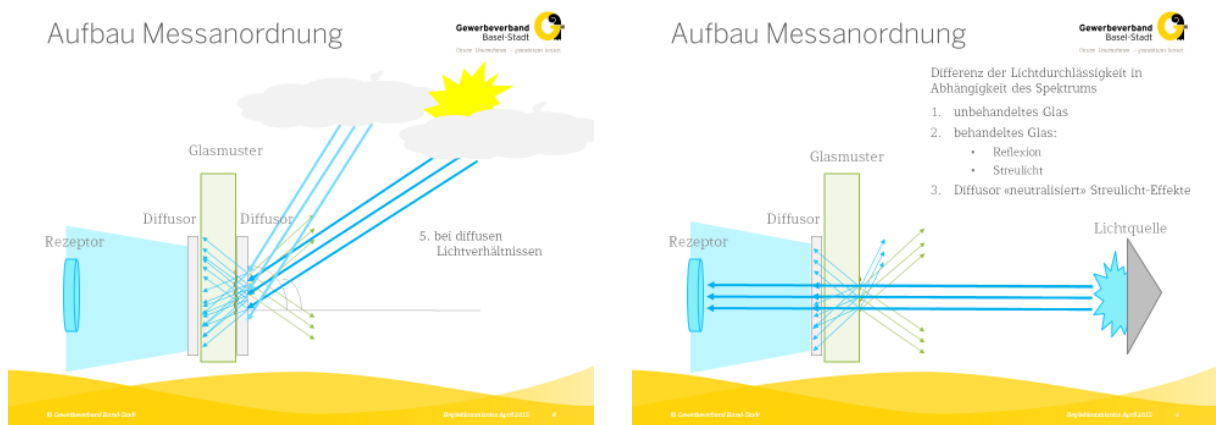
Tests, welche das ganze photoaktive Spektrum von Solarzellen (ca. 300 nm bis ca.1400 nm) abdecken, sind aufwändig und teuer und kommen deshalb nicht in Frage. Für eine Vorselektion reicht eine annähernde Abdeckung des Messbereichs im sichtbaren Bereich.

Die Messaufstellung besteht aus einer Kombination aus Blitzlichtern mit einem Tageslicht ähnlichen Farbspektrum und einer Farbtemperatur von 6'400 K. Das Blitzlicht löst die Spektralmessungsapparatur Sekonic C-700R aus, welche folgende Parameter messen kann.

- Die totale einkommende Lichtmenge H [lx s]
- Die Spektralverteilung des einfallenden Lichts im sichtbaren Bereich zwischen 380 nm - 780 nm.

Die Messungen werden in einem Schwarz gestrichen Raum auf einem optischen Tisch vorgenommen, um Fehler auf Grund von Streulichteinfall, Vibrationen oder mechanischen Instabilitäten zu reduzieren.

Nach der Kalibrierung werden der Aufbau der Apparatur beschlossen und die Messungen wie folgt vorgenommen (siehe Abb.38 ff):





Die Lichttransmission der PV-Gläser wird für drei Einfallswinkel vorgenommen (0° , 45° und 65° , wobei 0° gleichbedeutend ist wie die Normale zur Glasoberfläche). Und jede Messung wird fünffach wiederholt, um intrinsische Fehler der Komponenten zu mitteln.

Für 0° Messungen werden die diffuse und die direkte Strahlung gemessen.

Die Mittelwerte der Daten werden in Beziehung zu den Referenzmessungen eines unbehandelten PV Glases gesetzt. Das Verhältnis der zwei Werte wird als Transmissionsrate für jeden Typ eines behandelten Glases erfasst.

Die Transmissionsrate wird für jede Glaskategorie resp. Farbe grafisch dargestellt.

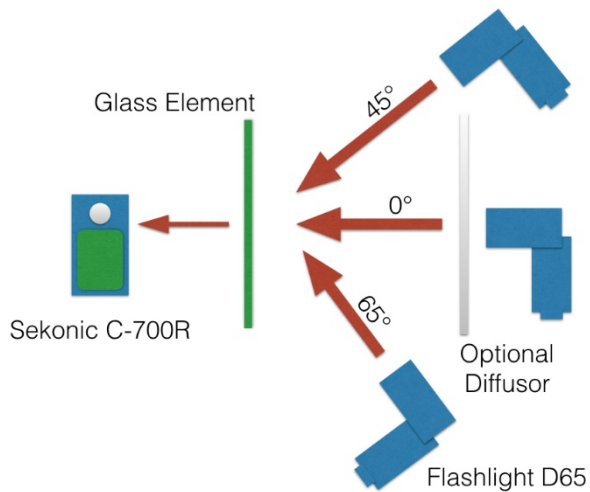


Abb.40: Messungen mit verschiedenen Einfallswinkeln

Streuung der Resultate der Glasmustermessung

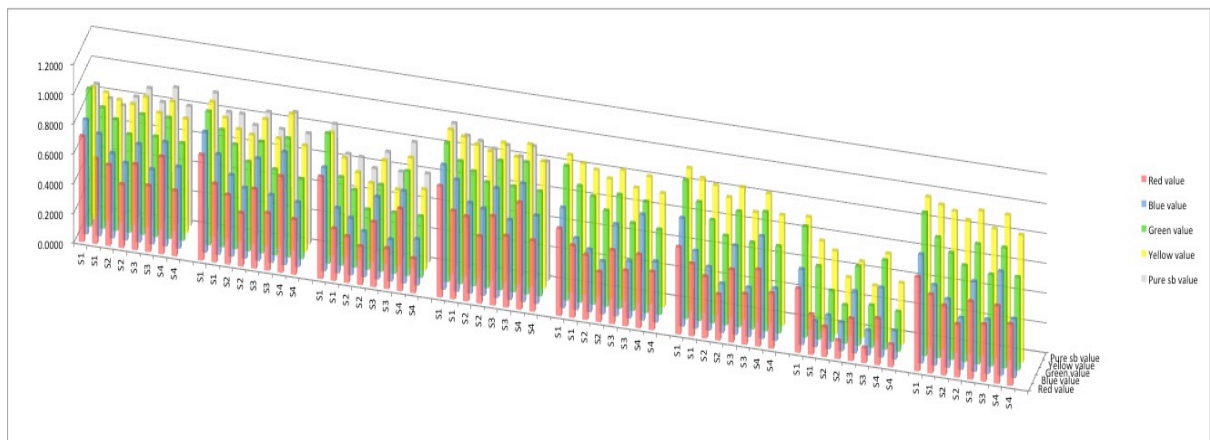


Abb.41: Übersicht aller Resultate der Lichttransmissionsmessungen (Mittelwert von 5 Messungen)



13.2 Messkonzept auf Testmodulen

Elektroschema der Testanlage bei Solvatec AG

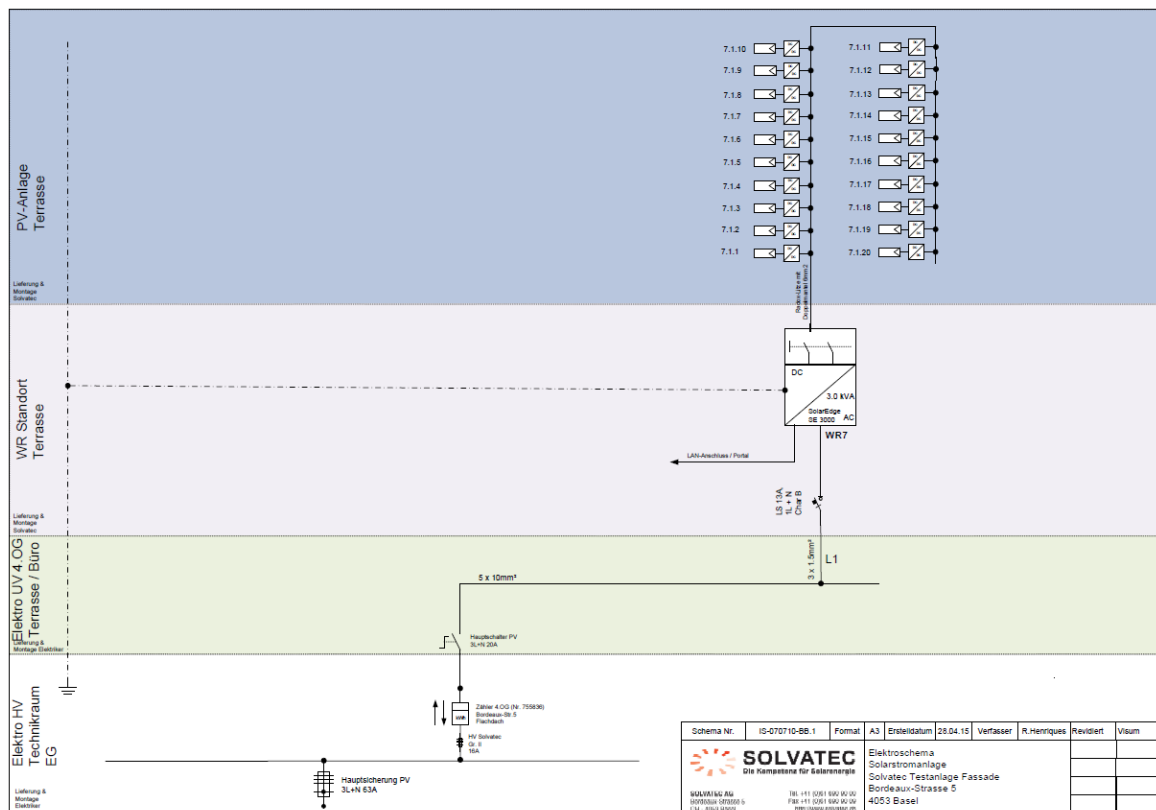


Abb.42 : Elektroschema der Testanlage bei Solvatec AG

Vor jedem Versuch erfolgt eine technische Prüfung auf mögliche Beschädigungen des PV-Panels. Die Messungen der unbehandelten Module ist gleichzeitig Referenzmessung und Qualitätskontrolle.



13.3 Resultate der Messung auf dem Dachlabor

Leistungen in W auf PV-Module an 3 sonnigen Tagen mit unterschiedlichen Oberflächenbehandlungen

Referenz unbehandelt, horizontale Wellen 50 %, vertikale Wellen 50 %, vollflächig sandgestrahlt, vollflächig sandgestrahlt grob sowie eingefärbt mit rot, blau, grün und gelb

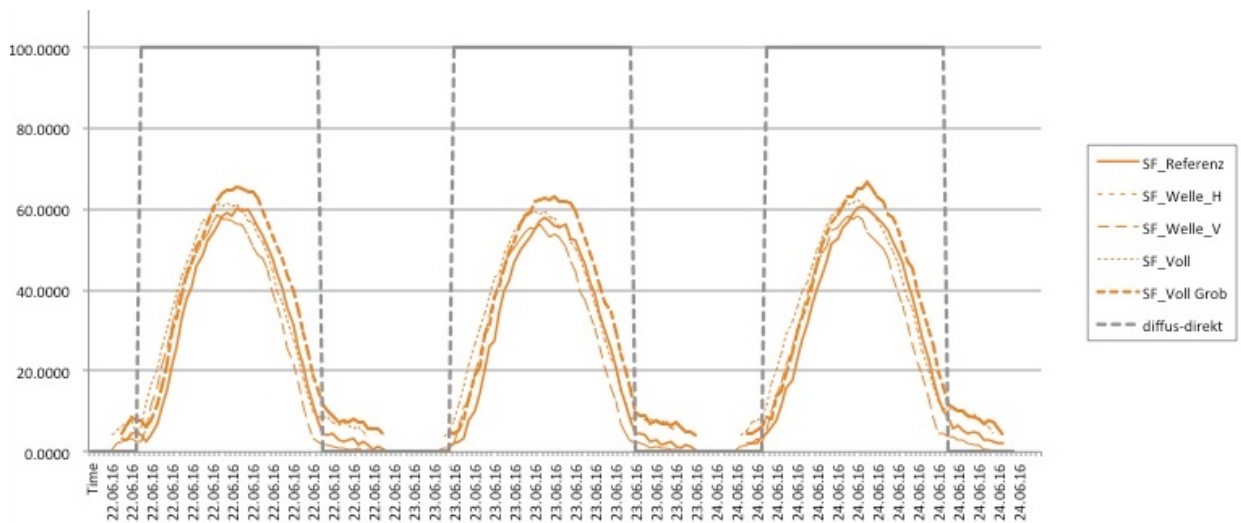


Abb.43: Vergleich der Leistungen PV-Module von Solarfrontier SF 155

unbehandelt, horizontale Wellen 50%, vertikale Wellen 50%, vollflächig sandgestrahlt, vollflächig sandgestrahlt grob

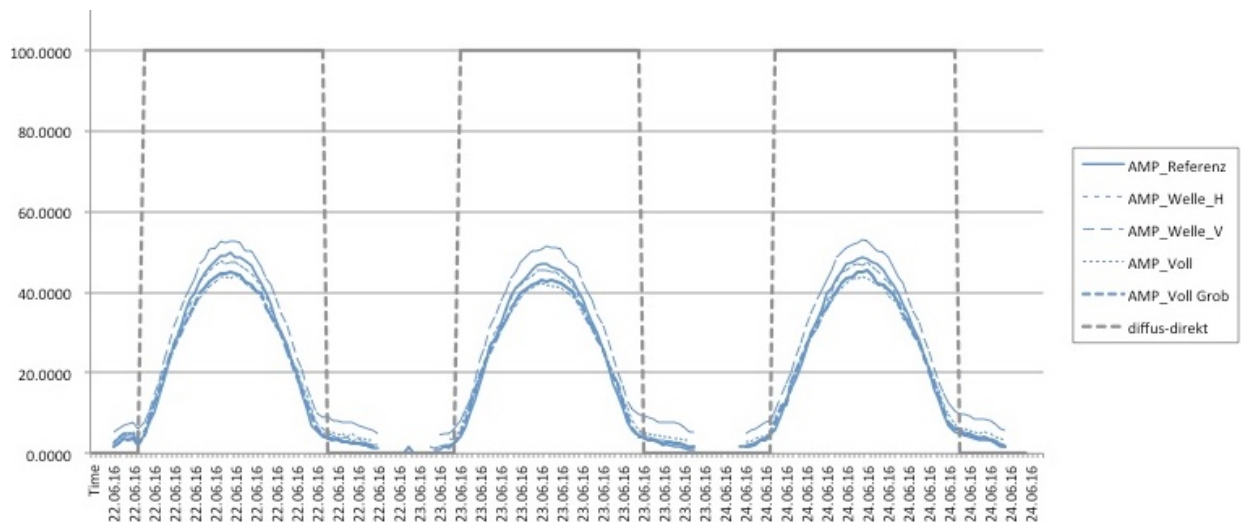


Abb.44: Vergleich der Leistungen PV-Module von Avancis PowerMax 3.5

unbehandelt, horizontale Wellen 50%, vertikale Wellen 50%, vollflächig sandgestrahlt, vollflächig sandgestrahlt grob

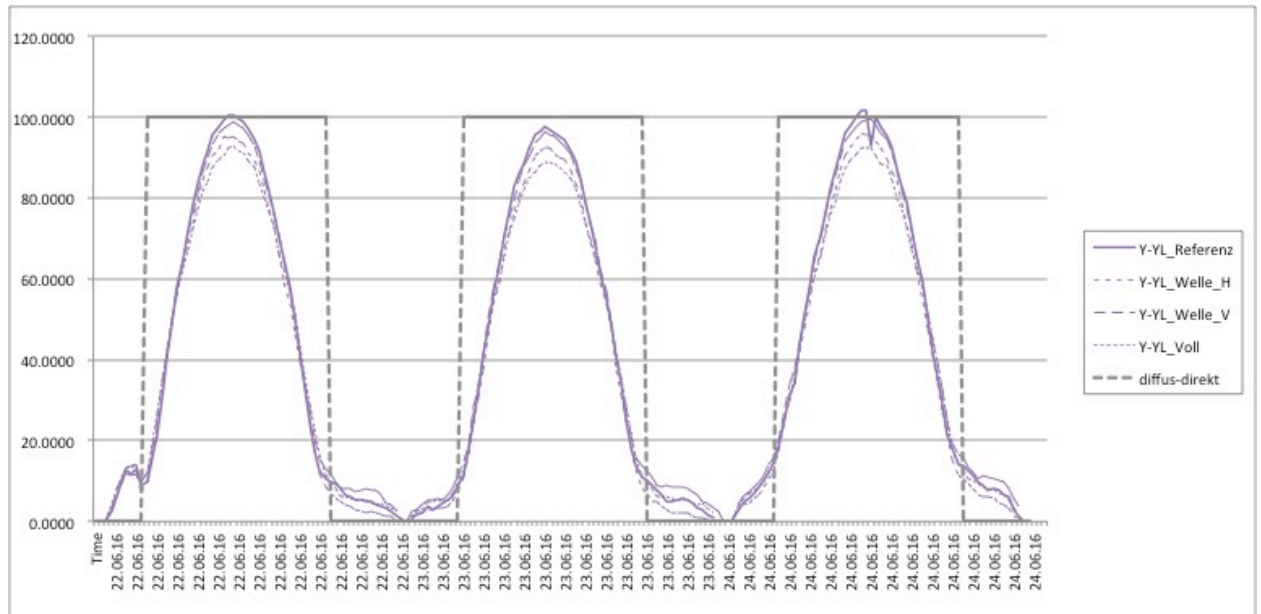


Abb.45: Vergleich der Leistungen PV-Module von Yingli Energy, YL255P-29b
unbehandelt, horizontale Wellen 50%, vertikale Wellen 50%, vollflächig sandgestrahlt

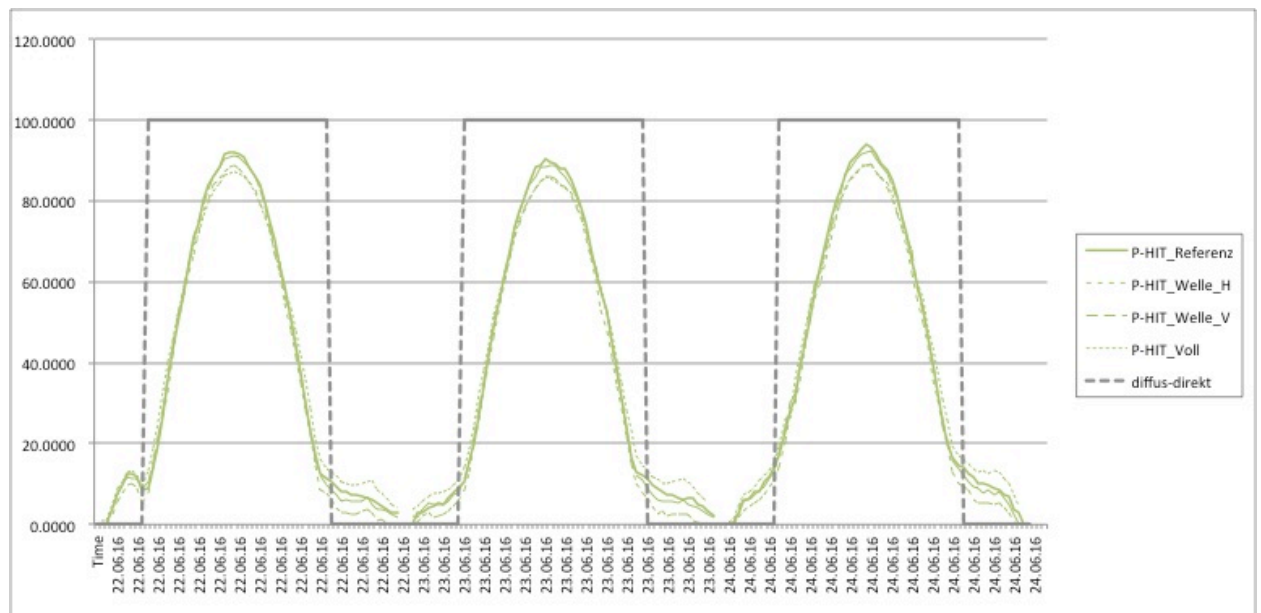


Abb.46: Vergleich der Leistungen PV-Module von Panasonic HIT VBHN240SJ25
unbehandelt, horizontale Wellen 50%, vertikale Wellen 50%, vollflächig sandgestrahlt



Vergleich aller Modultypen, vollflächig sandgestrahlt vertikale Wellen 50%

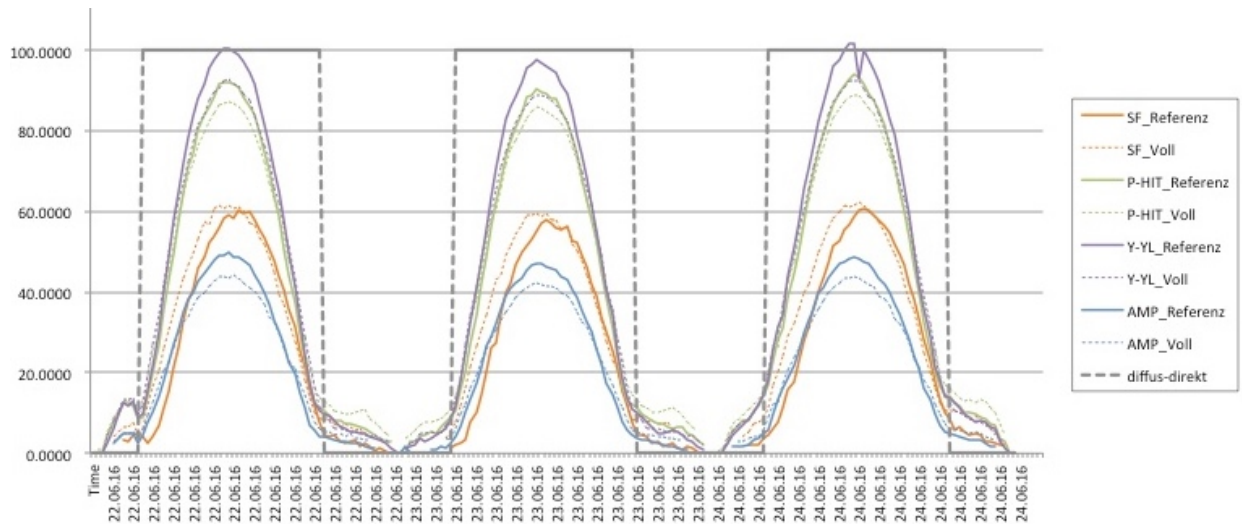


Abb.47: Vergleich der Leistungen aller 4 PV-Modultypen an 3 sonnigen Tagen mit vollflächiger Oberflächenbehandlung

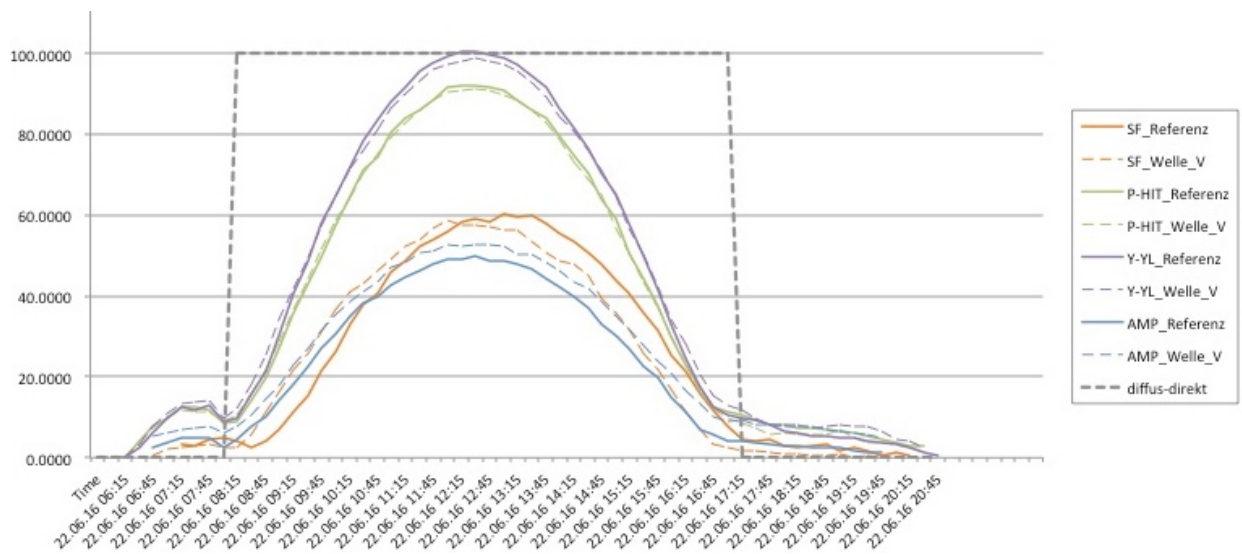


Abb.48: Leistungsvergleich aller 4 PV-Modultypen an 3 sonnigen Tagen mit vertikalen Wellen 50% Oberflächenbehandlung



Vergleich von Leistungen in W in Einzelpunktmessungen bei 65° Einstrahlwinkel Winkel zur Senkrechten auf die Modulfläche, um die Reflexion / Abstrahlung an Fassaden zu beurteilen. (unbehandelt, horizontale Wellen 50%, vertikale Wellen 50%, vollflächig sandgestrahlt)

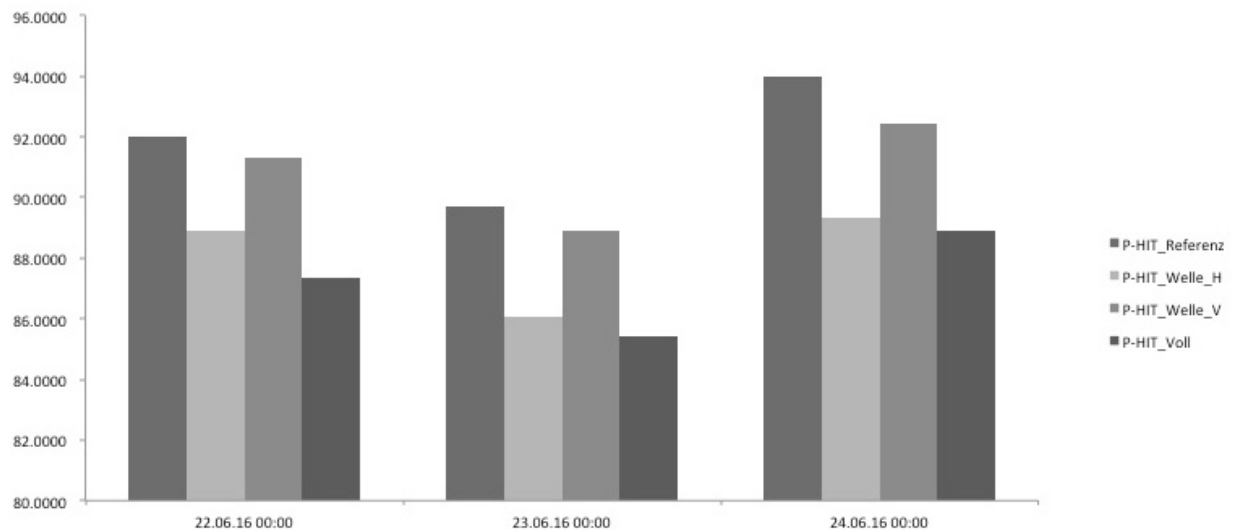


Abb.49: Leistungsvergleich bei Solarfontier SF 155 (16 Uhr am 22./23./24.6.2016) - an 3 sonnigen Tagen

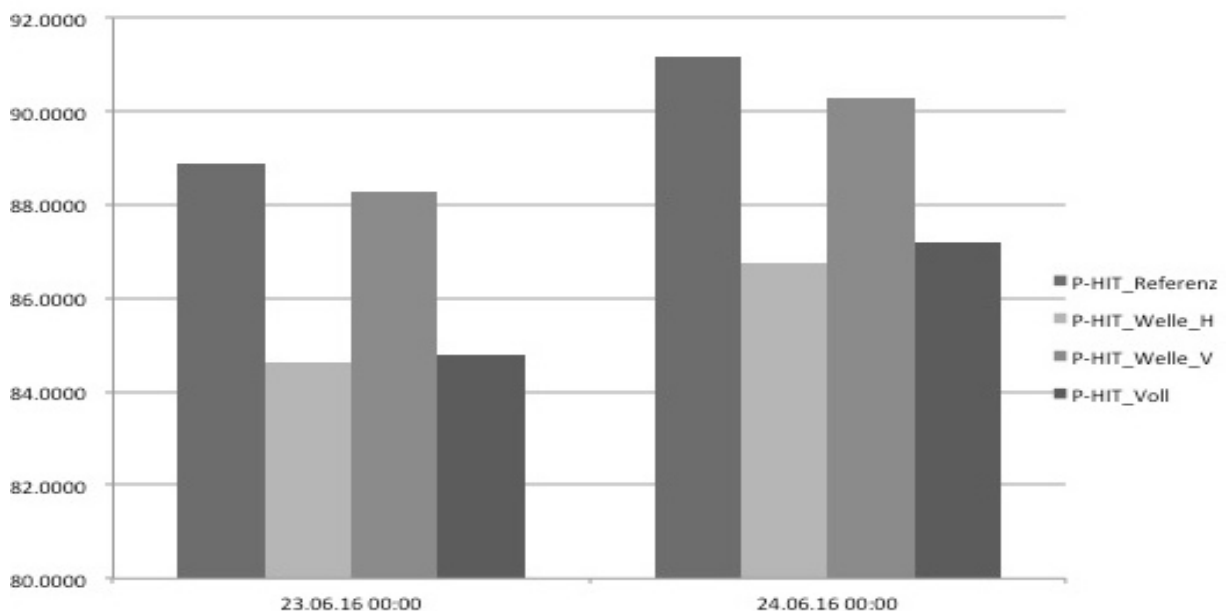


Abb.50: Leistungsvergleich bei Panasonic HIT VBHN240SJ25 (16 Uhr am 23./24.6.2016) - an 3 sonnigen Tagen



13.4 Steckbrief MFH Dornacherstr. 109 / Solothurnerstr. 62 in Basel

Objektbeschreibung

Die 1957/58 erstellte Liegenschaft ist im Besitz der Sodor AG. Die Immobilienfirma verwaltet die insgesamt 50 Wohnungen in den 5 Obergeschossen, eine Einstellhalle mit 21 Anstellplätzen und Lagerräume im Untergeschoss, sowie gegen 1'000 m² Gewerbeflächen im Erdgeschoss mit verschiedenen Nutzungen (Tankstelle, Autowerkstatt, Modellbauladen, Küchenstudio). Das Erdgeschoss nimmt die gesamte Parzelle hinter der Baulinie ein.

In den Wohngeschossen wurde vor ca. 15 Jahren eine innere Sanierung realisiert. Nebst den Bädern und Leitungen wurden die Fenster ersetzt. Bei Mieterwechsel wurden auch teilweise die Küchen erneuert. Das Dach über dem hofseitigen Gewerbeteil ist saniert und begrünt. Ebenso wurden die strassenseitigen Attikaterrassen saniert. Weitergehende Massnahmen an der Gebäudehülle sind nicht erfolgt. Entsprechend sind verschiedenen Problemzonen und Wärmebrücken vorhanden.

Beteiligte

Eigentümer	Sodor AG, Familie Lauber Dornacherstrasse 109, 4053 Basel	Telefon Email	+41 79 249 17 30 sodor@gmx.ch
Betreiber PV-Anlage	Swiss Solar City AG, Michael Hohn Hardstrasse 8, 4052 Basel	Telefon Email	+41 61 205 49 44 michael.hohn@swiss-solar-city.ch
Architekt, Energieberater	raumweg gmbh, Architekt Markus Bloch Fichtenhagstrasse 4, 4132 Muttenz	Telefon Email	+41 76 336 96 69 architektur@raumweg.ch
PV-Design, Glasbearbeitung	Marc Weidmann Stephan Gschwind-Str. 17, 4104 Oberwil	Telefon Email	+41 61 690 90 00 d.mueller@solvatec.ch
Solaranlage	Solvatec AG, Dominik Müller Bordeaux-Strasse 5, 4053 Basel	Telefon Email	+41 61 690 90 00 d.mueller@solvatec.ch
P+D Projekt Koordination	Energie Impuls BS, Martin Gruber Elisabethenstrasse 23, CH-4010 Basel	Telefon Email	+41 61 227 50 36 m.gruber@gewerbe-basel.ch



Abb.51: Ausschnitt Situationsplan, GIS Basel-Stadt mit Objekt



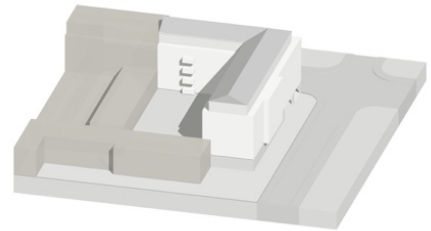
Gesamtkonzept nachhaltige energetische Sanierung

Abb.52 Graphische Darstellung des Vorgehensplan und der Etappierungen

(gemäss BS-Modernisierungswettbewerb 2015, nachstehende Angaben aktualisiert)

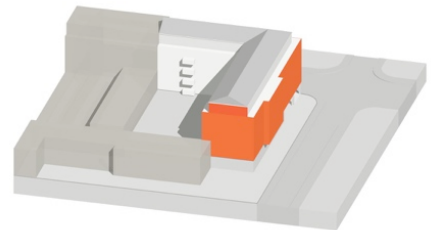
1958 / 1998 Heute

- Aktueller Zustand
- Bäder / Leitungen saniert
- Einzellüfter
- Fensterersatz



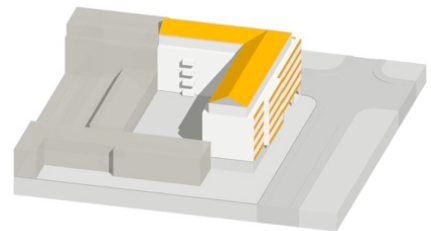
2015 - 2017 Gebäudehülle

- Strassenfassaden und Giebel
- Verbesserung der Wärmedämmung
- Wichtigste Wärmebrücken verbessern
- Schadenfreiheit (Kondensat, Schimmel)



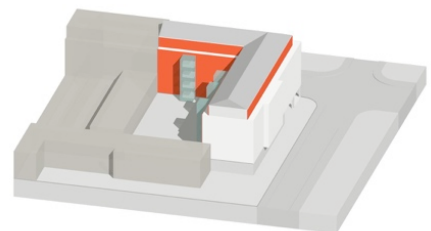
2016 - 2017 Photovoltaik

- Dach und Strassenfassaden
- PV-Anlage Hauptdach
- PV-Anlage Glasdach über Attikaterasse Hofseite
- PV-Anlage Strassenfassaden (Brüstungen)



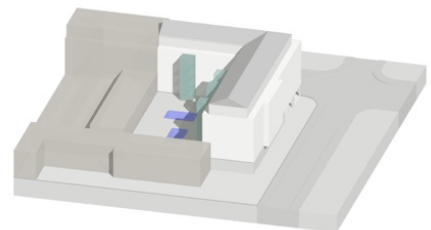
2020 (voraussichtlich) Gebäudehülle und Balkone

- Hoffassade,
- Attikafassaden
- Bodenbelag Attikaterasse Hofseite
- Therm. Trennung und Vergrößerung Balkone



2020 (voraussichtlich) Gewerbenutzungen, Tankstelle

- Umnutzung Erdgeschoss
- Solartankstelle / Shop (Coffee and Charge)
- Einbau Atrium und neue (Quartier-)Nutzungen
- Dach über Anbau begrünt und nutzbar





MFH Dornacherstrasse Basel - Planauswahl

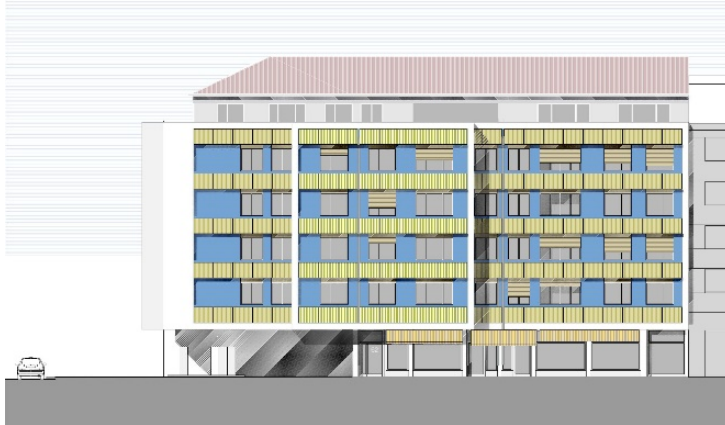


Abb.53: MFH Dornacherstrasse Basel , Strassen-Ansicht Südost

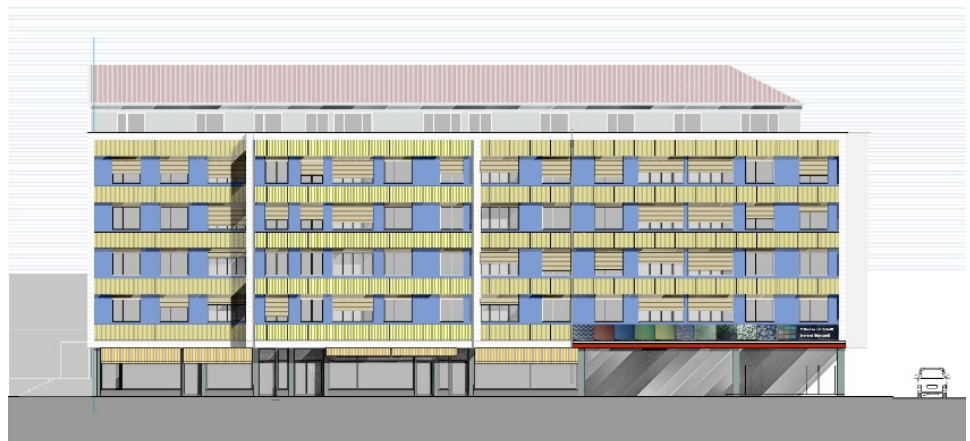


Abb. 54: MFH Dornacherstrasse Basel , Strassen-Ansicht Südwest

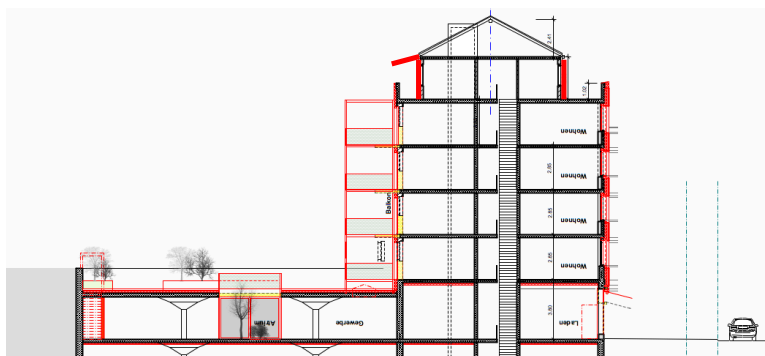


Abb.55 : MFH Dornacherstrasse Basel , Schnitt quer mit projektierten Lichthöfen



MFH Dornacherstrasse Basel - Planauswahl



Abb.56 : MFH Dornacherstrasse Basel , Grundriss 1.-4- Obergeschoss, Wohnungen



Abb.57 : MFH Dornacherstrasse Basel , Grundriss Erdgeschoss, Gewerbe / Tankstelle und Garage