

Sondierung für PV-Fassadensysteme aus leichten Kunststoff-Modulen mit reversiblen Befestigungen für Neu- und Altbauten

PV-FAS_light+easy

A. Korjenic, E. Heiduk,
K. Berger, E. Rauter,
C. Lebeda, M. Fraisslich

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

56/2019

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Auszugsweise Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen: <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

Sondierung für PV-Fassadensysteme aus leichten Kunststoff-Modulen mit reversiblen Befestigungen für Neu- und Altbauten

PV-FAS_light+easy

Univ. Prof. DI. Dr. Azra KORJENIC, DI. Ernst HEIDUK M.Eng. Ing.,
Ing. Christian LEBEDA
Institut f. Werkstofftechnologie, Bauphysik und Bauökologie, TU Wien

DI Karl BERGER
Center for Energy, AIT Austrian Institute of Technology

DI Ewald RAUTER, Ing. Markus FRAISLICH
Sto Österreich GmbH

Wien, Dezember 2018

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm Stadt der Zukunft des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm Haus der Zukunft auf und hat die Intention Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung von allen betroffenen Bereichen wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMVIT publiziert und elektronisch über die Plattform www.NachhaltigWirtschaften.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und AnwenderInnen eine interessante Lektüre.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	6
Abstract	7
1. Ausgangslage	8
1.1. Ausgangssituation und Motivation für das Sondierungs-Projekt	8
1.2. Zielsetzung des Sondierungs-Projekts	13
1.3. Stand der Technik / Stand des Wissens aus eigenen Vorarbeiten sowie nationalen und internationalen Projekten	14
2. Projekthalt	30
2.1. Vorgangsweise und im Projekt angewandte Methoden	30
2.2. Umsetzung der angewendeten Methoden und sich ergebende Probleme	32
3. Ergebnisse	56
4. Schlussfolgerungen	60
5. Ausblick und Empfehlungen	61
6. Verzeichnisse	62
6.1. Abbildungsverzeichnis	62
6.2. Tabellenverzeichnis	64
6.3. Literaturverzeichnis	65
6.4. Weiterführende Literatur	66

Kurzfassung

Ausgangssituation/Motivation zur Durchführung der Sondierung

Gebäudenaher Photovoltaik ist aus energietechnischen Gründen wünschenswert. PV-Module sind aus architektonischen Gründen gebäude- und fassadenintegriert wünschenswert. Das gelingt derzeit sehr selten, weil die Gesamtkonstruktion teuer ist und die starren Modulgrößen fast nie in die Fassadenplanung integrierbar sind. Sobald aber Sonderformate notwendig werden, endet derzeit jede Wirtschaftlichkeit. Es sind daher PV-Systeme wünschenswert,

- welche einfache Unterkonstruktionen aufweisen,
- welche leichter in unterschiedlichen Formaten produzierbar sind,
- bei welchen defekte Einzelmodule leicht ausgetauscht werden können,
- welche einen guten PV-Ertrag erzielen,
- welche wirtschaftlichen Anlagenkosten gegenüberstehen,
- welche im Neubau integriert werden können als auch
- nachträglich auf Bestandsgebäuden und
- welche an den am häufigsten vorhandenen Außenwandkonstruktionen montiert werden können.

Inhalte und Zielsetzungen

Mit diesem Sondierungsprojekt wurden seit kurzem am Markt verfügbare Produkte und Technologien zu einem neuen System zusammengeführt. Dabei handelt es sich um die leichten, nur in Kunststoffsysteme eingebettete PV-Module und das neue Klettverschluss-System für trennbare Wärmedämm-Verbundsystem-Fassaden. Zusätzlich wurden im Projektverlauf auch konventionelle Glas-PV-Module in den Vergleichstest aufgenommen. Mit insgesamt drei PV-Produkten wurden erste Fragen zur Befestigungstechnik an Massivwänden mit WDVS-Fassaden, zum Brandschutz und zur Elektrotechnik bearbeitet, um das Anwendungspotenzial abzuschätzen.

Methodische Vorgehensweise

Es wurden erste Untersuchungen zur Befestigungstechnik durch Tests im Baulabor, auf zwei Varianten von Fassaden-Mock-Ups (hochgedämmt und mäßig gedämmt/Altbau) und Tests von Prüfflächen am AIT (Wind-Druck/Sog, Temperaturverhalten, ...), zum elektrotechnischen Konzept sowie zur Bauphysik und Analysen zum Brandschutz durchgeführt, um das Befestigungssystem zu erproben und weiter zu entwickeln.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Mit den hier durchgeführten Tests ist es gelungen, den Weg zu einem Befestigungssystem, das den genannten Kriterien entspricht, aufzuzeigen. Das Anwendungspotenzial ist für den Neubau als auch nachträglich auf Bestandsgebäuden groß. Es hat auch das Potenzial, auf den am häufigsten vorhandenen Außenwandkonstruktionen (WDVS) in architektonisch anspruchsvoller Art montiert werden zu können.

Ausblick

Ein Nachfolgeprojekt-Antrag wird vorbereitet, um die derzeit noch bestehenden Mängel weiterbearbeiten und gezielt lösen zu können. Dies soll mit einer Realanwendung und einem Langfrist-Monitoring erprobt werden. Dadurch wird ein Beitrag geleistet, dem Ziel von Plus-Energie-Gebäuden und Plus-Energie-Quartieren deutlich näher zu kommen.

Abstract

Starting point/Motivation for carrying out the exploratory:

Building-integrated photovoltaic modules are desirable for energy engineering reasons. Building integration of PV is architecturally desirable. Still, this kind of construction currently is implemented very rarely because the overall construction is expensive and the rigid module sizes are difficult to integrate into the facade planning. However, as soon as special formats become necessary, all economic efficiency ends. Therefore, PV systems are desirable,

- which have simpler substructures,
- which are easier to produce in different formats,
- where defective individual modules can be easily exchanged,
- which achieve a good PV yield,
- which are faced with economic investment costs,
- which can be integrated in new buildings as well as
- subsequently on existing buildings and
- which can be mounted on the most common exterior wall constructions.

Content and objectives

With this exploratory project, recently available products and technologies have been merged into a new system. These are lightweight PV modules embedded in plastic systems and the new Velcro fastening system for separable thermal insulation composite façades. In addition, conventional glass PV modules were included in the comparison test in the course of the project. Comparing in total three PV products, questions on fastening technology on solid walls with ETICS facades, on fire protection and on electrical engineering were worked out in order to estimate the application potential.

Methodical approach

The first investigations on fastening technology were carried out by tests in the construction laboratory, on two variants of façade mock-ups (highly insulated and moderately insulated / old building) and on test surfaces at the AIT (wind pressure / suction, temperature behaviour, etc.). Furthermore, tests concerning the electro-technical concept, building physics and fire safety analyses were done to test and develop the fastening system.

Results and conclusions

With our tests, we have succeeded in finding the way to a fastening system that meets the specified criteria. The application potential of the system on new buildings as well as subsequently on existing buildings is great and it has the potential to be mounted on the most commonly available exterior wall structures (ETICS) in architecturally sophisticated manner.

Outlook

A follow-up project application is prepared in order to be able to further process and solve the currently existing deficiencies. This should be tested with a real application and a long-term monitoring. This contributes to come much closer to the goal of realising plus energy buildings and plus energy neighbourhoods.

1. Ausgangslage

1.1. Ausgangssituation und Motivation für das Sondierungs-Projekt

Generelle Motivation

Die sehr dringlichen Klimaschutz- und Energieeffizienzziele der Europäischen Union sehen vor, dass ab dem Jahr 2019 alle Neubauten in den Mitgliedsstaaten mindestens so viel Energie erzeugen, wie sie selbst verbrauchen. Dieses Ziel sind Plus-Energie-Gebäude mit der Bilanzgrenze eines Jahres.

Ausgangssituation und Motivation des PV-FAS_light+easy - Projektteams

Eine gebäudenaher oder bauwerksintegrierte PV-Anlage (BIPV) soll immer Teil eines gesamtheitlichen und effizienten Gebäudeenergiekonzepts sein. Dafür gibt es am Institut für Werkstofftechnologie, Bauphysik und Bauökologie der TU-Wien sehr viel Erfahrung und Kompetenz. Ein bekanntes Beispiel dafür ist das Plus-Energie-Bürohochhaus der TU Wien. Der größere Teil der PV-Anlage ist hier in die Fassadenflächen integriert und somit ein essentieller Bestandteil des Gesamtenergiekonzepts. Vieles aus diesem Pilotprojekt ist allgemein anwendbar und motiviert dazu, nach zusätzlichen Systemen für Fassaden-PV-Anlagen, speziell für den Wohnbau und den Gebäudealtbestand, zu suchen.

Das Projektkonsortium: Prof. Bednar und sein Team der TU-Wien, die Firma Schöberl & Pöll GmbH und die ARGE Architekten Kratochwil-Waldbauer-Zeinitzer wurden für das Plus-Energie-Bürohochhaus der TU Wien im Jahr 2015 mit dem österreichischen Staatspreis für Umwelt- und Energietechnologie ausgezeichnet. Das Gebäude ist mit einem Monitoring-System aller Energiesysteme ausgestattet, das eine permanente Weiterentwicklung und Optimierung des Gesamtsystems ermöglicht.



Abb. 1: Plus-Energie-Bürohochhaus der TU Wien [1]

Dieses Gebäude geht über die Anforderungen an ein Plus-Energie-Gebäude hinaus, weil es zu ca. 80% des Jahres nicht nur den Gebäudeenergiebedarf selbst abdecken kann, sondern auch die nicht unerhebliche Nutzenergie, die von den Gebäudenutzern benötigt wird (Computer, Kaffeemaschinen, etc.).

PV und Plus-Energie-Gebäude

Für eine positive Bilanzierung ist es bei konventionellen „Plus-Energie-Gebäuden“ immer sinnvoll, primär den Bedarf für Wärme-, Kälte- und elektrischer Nutzenergie zu minimieren. Um gebäudenah und nachbarschaftsverträglich im städtischen Bereich elektrische Energie gewinnen zu können, gibt es die technische Option der Photovoltaik (PV) an den besonnten Flächen eines Gebäudes. Die besonnten Fassaden eines Gebäudes stellen dabei eine bisher noch selten genutzte Fläche für die PV-Stromgewinnung dar. Das liegt daran, dass bei bauwerksintegrierter Photovoltaik (BIPV)

- eine optimal geneigte Dachfläche den höchstmöglichen jährlichen PV-Stromertrag erbringt,
- es für Dach-PV-Systeme eine Reihe von zufriedenstellend funktionierenden Montagesystemen gibt und
- es für Dach-PV-Anlagen eine Reihe von Hilfen gibt, wie
 - o Handbücher und Homepages,
 - o 3D-Softwareprogramme (Solarrechner u.ä.)
 - o GIS-gestützte Online-Planungs- und Berechnungstools

Alle möglichen Positionen für PV-Module an einem Gebäude mit geneigtem Dach zeigt die nachfolgende schematische Grafik. Diese sind Dach- und Fassadenflächen und auskragende Sonderbauteile, wie Balkon- und Terrassenbrüstungen sowie Vordächer über Fenstern. Auch für diese gibt es Komplettsysteme am Markt. An der Fassade sind in die Fassadenkonstruktion integrierte oder vorgesetzte Systeme möglich.



Abb. 2: Möglichkeiten der PV-Gebäudeintegration. [2]

Relevanz der Fassaden-PV für Plus-Energie-Gebäude

Um eine möglichst große Eigenbedarfsabdeckung durch PV-Strom zu erreichen, ist nicht auf einen maximalen, sondern auf einen ganzjährig und tageszeitlich optimierten Ertrag zu achten.

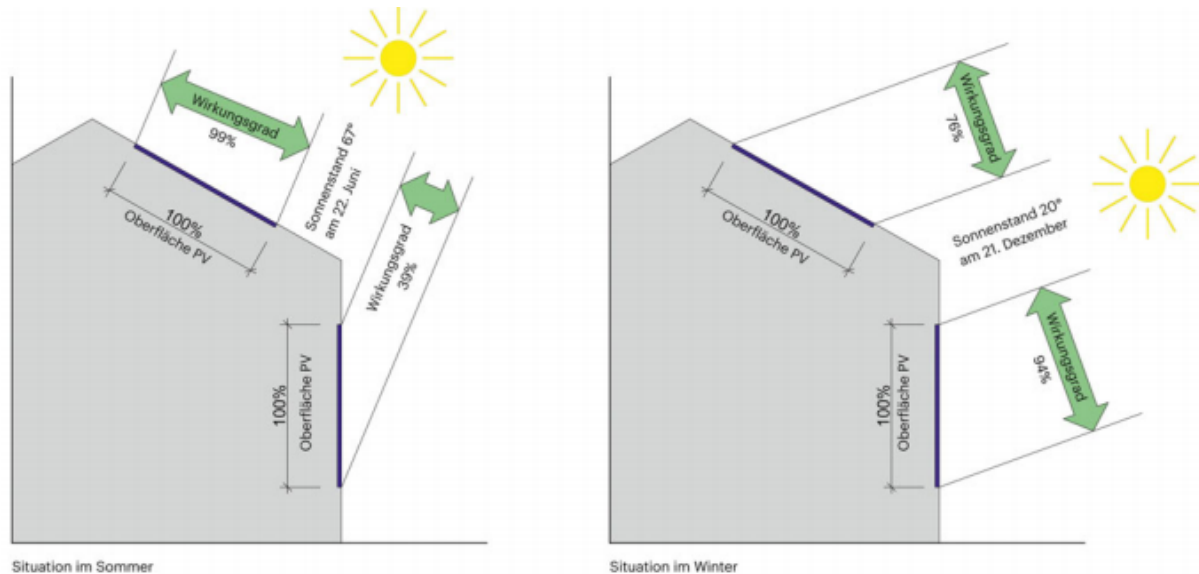


Abb. 3: Wirkungsgrad Fassade zu Dach im Sommer und im Winter. [3]

Bei der jahreszeitlichen Betrachtung haben die senkrechten Fassadenflächen Vorteile, weil sie bei tiefstehender Sonne im Winter den relativ höchsten Ertrag erbringen. Bei Betrachtung des tageszeitlichen Verlaufs ist das jeweilige Lastprofil die Planungsgrundlage. PV-Flächen, die durch unterschiedliche Orientierungen den Tagesgang der solaren Einstrahlung abgestimmt nutzen, ergeben einen möglichst gleichmäßigen PV-Ertrag.

Wie man in nachfolgender Grafik ablesen kann, erreicht die vertikale Stellung von PV-Flächen ganzjährig nur 70% der Maximalleistung, dies aber im gesamten Bereich von 70° West bis 70° Ost. Reine Ost- oder West-Orientierungen erreichen noch immer 65% der möglichen Maximalleistung.

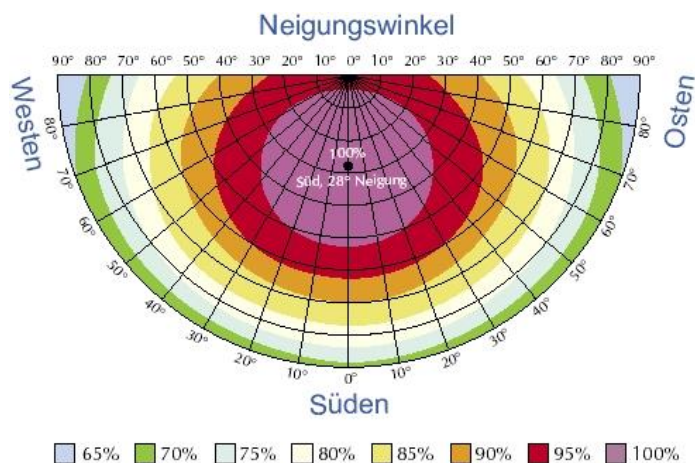


Abb. 4: Abhängigkeit des relativen Jahresertrags (kWh/kWpa) von Neigung und Richtung. [4]

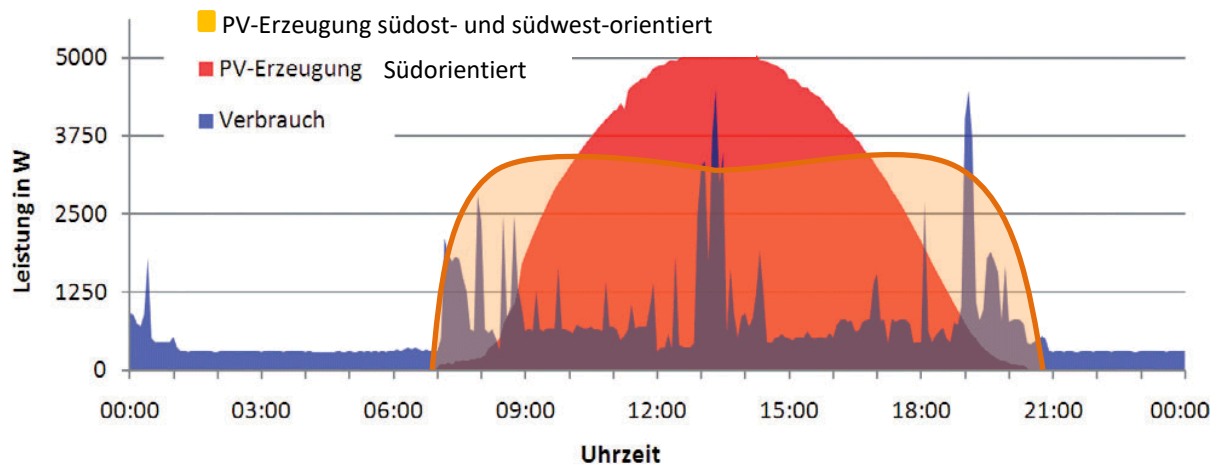


Abb. 5: Stromverbrauch/Lastprofil eines 4-Personen-Haushalts und Ertragskurve einer PV-Anlage mit 6 kWp Leistung + Überlagerung mit SO und SW orientierter PV. Quelle: [5]; Bearbeitung Ernst Heiduk

Durch südost- und südwest-orientierte vertikale PV-Flächen Gebäudefassaden kann

- der tageszeitliche Verlauf der PV-Stromgewinnung sehr gleichmäßig gestaltet und so vor allem die morgendlichen und abendlichen Bedarfsspitzen abgedeckt werden und
- der jahreszeitliche Verlauf durch die Maximierung der winterlichen PV-Stromgewinnung weitest möglich an den Gebäudeenergiebedarf angepasst werden.

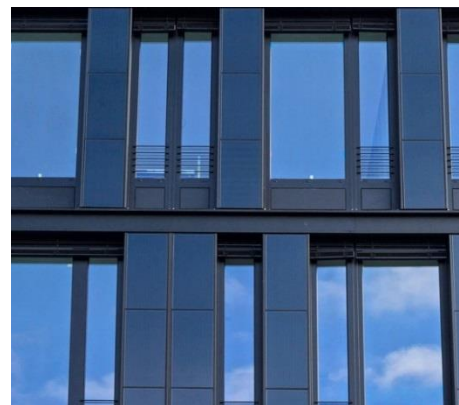
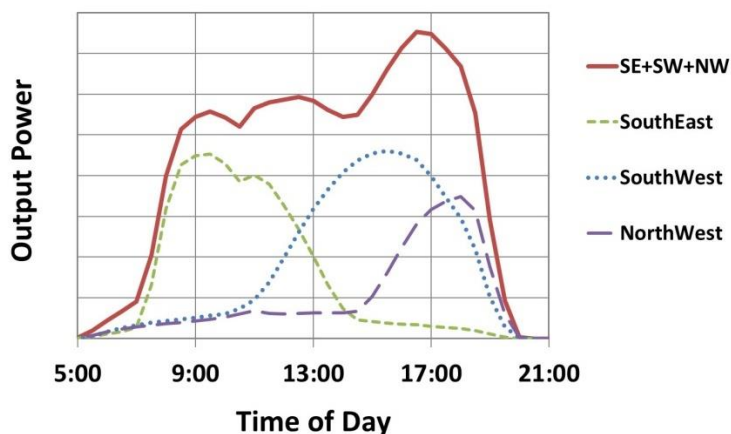
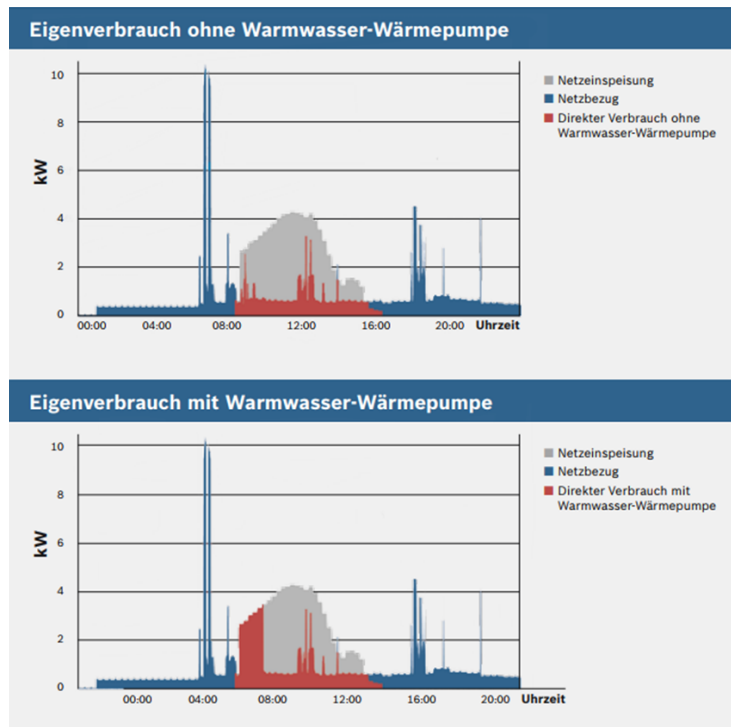


Abb. 6: Links: Relativer Leistungsverlauf der PV-Fassade auf der SO-, SW- und NW-Seite des ZSW-Gebäudes in Stuttgart sowie die Summenleistung, gemessen im August 2017.[6]; Rechts: Darstellung eines Fassadenabschnittes; [6]

Um einen größeren Eigendeckungsgrad mit PV-Strom zu erreichen, können Stromverbraucher weitgehend nur bei PV-Strom-Angebot laufen

- durch Zeitsteuerung von variablen Verbrauchern (Waschmaschine, Geschirrspüler, Tiefkühlschrank, ...)
- durch Steuerungstechnik der elektrisch betriebenen Wärmepumpe für Heizung und Warmwasser
- durch direkte Koppelung sommerlicher Kühlung (falls notwendig)

und durch elektrische Speichertechnologien ergänzt werden.



*Ermittelt durch Simulation für 3-Personenhaushalt im Raum Stuttgart. Berücksichtigt wurde Stromverbrauch durch Haushalts- und Nutzergeräte sowie Beleuchtung und Warmwasserbedarf durch Waschmaschine, Geschirrspüler und Dusche. Anzahl PV-Module = 15.

Abb. 7: PV- Eigenverbrauch – ohne und mit Warmwasser-Wärmepumpe. [7]

PV-Flächen an Gebäudefassaden kleinerer Gebäude sind für ganzheitliche Gebäudeenergiekonzepte mit einem möglichst großen Eigendeckungsgrad

- alleine ein wertvoller PV-Strom-Erzeuger oder
- eine sinnvolle Ergänzung zu Dach-PV-Anlagen.

Bei großvolumigen Gebäuden reicht durch das kleinere Oberflächen-/Volumenverhältnis, im Vergleich zu kleineren Gebäuden, die Dachfläche alleine nicht mehr aus und die Fassade muss ebenfalls mit PV belegt werden.

In der Studie „Möglichkeiten und Grenzen von großen Nullenergiegebäuden“ der Schweizer Fachhochschule Nordwestschweiz und des Schweizer Bundesamts für Energie wurde gezeigt, dass auch sehr große und hohe Gebäude bei größter Effizienz des Gesamtsystems bis zum 40. Stockwerk eine HWLK-Nullbilanz erreichen können.

Die Hauptergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden [8]:

- Die HWLK-Nullbilanz kann bis auf eine Ausnahme für alle Varianten bis zu 40 Stockwerken erreicht werden.
- Um auch bei sehr gut gedämmten Gebäuden eine GEB-Nullbilanz zu erreichen, sind die vier wichtigsten Parameter
 - o die Effizienz von Geräten und Beleuchtung,
 - o die Art des Wärmeerzeugers,
 - o die tatsächlich verfügbare PV-Fläche
 - o sowie der effektive Systemwirkungsgrad der gesamten PV-Installation.

Für PV-Anlagen sind daher an allen Gebäuden die notwendigen Planungsschritte:

- Analyse und Auswahl geeigneter Flächen in bzw. an der Gebäudehülle
- Analyse und ganzjährige Beobachtung oder Simulation der umgebungsbedingten Verschattungssituation inkl. potenzieller neuer Bebauungen

- architektonische Gestaltung der PV-Anlage im Zusammenspiel mit der Berechnung bzw. dynamischen Simulation des potenziellen PV-Stromertrags im Tages- und Jahresverlauf
- technische Konzeption des PV-Montagesystems (ohne Eigenbeschattung) unter Beachtung der
 - o thermischen Belastung der Module und der
 - o elektrischen Sicherheit und des Brandschutzes
- Möglichkeit zum leichten Austausch defekter PV-Module
- Konzeption der PV-Systemtechnik und der elektrischen Verschaltungs- und Verkabelungstechnik

1.2. Zielsetzung des Sondierungs-Projekts

Die beteiligten wissenschaftlichen Institutionen TU Wien und AIT sind im Bereich PV- und speziell bei der Bauwerksintegration dieser Systeme sehr kompetent und laufend wissenschaftlich tätig.

Die beteiligte Projektpartner-Fachfirma Sto ist im Bereich Fassadensysteme, Wärmedämmverbundsysteme, Befestigungstechnik und auch Fassadenintegration von PV-Systemen sehr kompetent und hat ebenfalls einen sehr hohen Stand des Wissens.

Alle Beteiligten kennen die bestehenden Probleme bei PV-Systemen für Gebäudefassaden als auch die derzeit am Markt verfügbaren Systeme.

Die ökologisch und architektonisch sehr wünschenswerte Integration von PV-Elementen in die Gebäudehülle krankt derzeit an etlichen technischen und damit verbundenen ökonomischen Problemen. Dadurch ist diese Intention derzeit sehr eingeschränkt.

- Die vorgegebenen Standardgrößen der PV-Module sind sehr schwierig in einer Gebäudefassade integrierbar.
- Dabei ergeben sich Sonderformate, die nicht erhältlich oder finanzierbar sind.
- Schwere Glasplatten-PV-Module brauchen eine starke Unterkonstruktion, die für die Wärmedämmung eine Vielzahl von Durchdringungen und Wärmebrücken mit sich bringt.
- Trotz Qualitätssicherung fallen einzelne Solarzellen frühzeitig aus und sollten leichter und kleinteiliger, als es derzeit machbar ist, ausgetauscht werden können.

Eine Erweiterung des Systemangebots am Markt, durch welche die angesprochenen Probleme reduziert werden können, ist daher wünschenswert und Ziel des Sondierungs-Projekts.

Die neu entwickelten, leichteren Kunststoff-PV-Module ermöglichen dabei neue Gesamtsystem-Entwicklungen.

Es gibt eine Reihe von leichten (semiflexiblen) Photovoltaikmodulen für die Gebäudeintegration. Diese Systeme sind meist für die Dachintegration (RiPV - roof integrated PV) bestimmt. Dabei kommen meist

Dünnschichttechnologien auf Basis von amorphem Silizium (single oder tandem), oder Cl(G)S, zum Einsatz. Die höchste Effizienz erreicht dabei Miasole mit 15% Modul- bzw. 17% Zellwirkungsgrad.¹

Bei fast allen ausgeführten und auch publizierten PV-Systemen an Fassaden handelt es sich um die Integration in Leichtfassaden mit Pfosten/Riegel-Konstruktion. Der Großteil der neu gebauten Objekte und des Gebäudebestands sind aber Massivbau-Konstruktionen und somit für eine breite Anwendung nicht geeignet. Ziel dieses Projekts ist es daher auch, ein neues PV-Befestigungssystem für massive Wandkonstruktionen mit WDVS zu entwickeln.

1.3. Stand der Technik / Stand des Wissens aus eigenen Vorarbeiten sowie nationalen und internationalen Projekten

BIPV in Gebäude-Fassadenkonstruktion

Um bei Gebäuden ein nachhaltiges Plus-Energie-Gebäudekonzept umsetzen zu können, ist im Neubau oder durch Sanierung eine thermisch optimierte Gebäudehülle sinnvolle Grundvoraussetzung. Daher ist es für jedes zukunftsfähige Fassaden-PV-Montagesystem notwendig, mit hochgedämmten Fassadenkonstruktionen kompatibel zu sein.

Hochbautechnisch werden Fassaden nach zwei Konstruktionsprinzipien unterschieden, in

- schwere, massive Wandkonstruktionen (Lochfassaden)
 - o einlagig,
 - monolithisch oder (Massivmauerwerk)
 - mit Multifunktionsmauerwerkssteinen
 - o mehrlagig,
 - Warmwand / nicht hinterlüftete Fassadenkonstruktion (Wetterschutzschicht von Wärmedämmschicht nicht getrennt)
 - Kaltwand / hinterlüftete Fassadenkonstruktion (Wetterschutzschicht von Wärmedämmschicht durch Luftspalt getrennt) und
- leichte, skelettartige Wandkonstruktionen (Leichtfassaden) als
 - o einschalige Leichtfassaden - und
 - Pfosten-Riegel- und
 - Elementfassaden,
 - o mehrschalige Leichtfassaden (Doppelfassaden) sowie
 - o kombinierte Fassaden.

¹ Standard Glas-Backsheet-Module, die nicht für die Gebäudeintegration geeignet sind, erreichen eine Effizienz von ca. 20% bei ca. 12 kg/m², Glas-Glas Module (typisch Verbund-Sicherheitsglas VSG), deren Glasstärken vom Einsatzfall abhängt, haben vergleichbaren Wirkungsgrad, sind aber noch wesentlich schwerer. siehe z.B. <http://www.ertex-solar.at/media/downloads/VSG.pdf> (Zugegriffen am 22.04.2018)

z.B. aus den Niederlanden: HyetSolar, <http://hyetsolar.nl/sites/default/files/11/images/files/HyET-Solar-powerfoil-165.pdf> (Zugegriffen am 22.04.2018); 7% bzw. 9% Wirkungsgrad bei Standard-Testbedingungen, 0.6 kg/m².

z.B. aus der Schweiz: FLISOM, http://flisom.com/wp-content/uploads/2017/02/Datasheet_eMetal_3m_201702.pdf (Zugegriffen am 22.04.2018) mit 9% Wirkungsgrad, 4 kg/m² (eMetal), 2 kg/m² (eFlex).

z.B. aus den USA, Miasole / Hanergy: http://miasole.com/wp-content/uploads/2014/09/FLEX_Benefits.pdf (Zugegriffen am 22.04.2018) mit 17% Wirkungsgrad, 2,4 kg/m². Ein leichtes, semi-flexibles Produkt mit kristallinen Silizium-Zellen und entsprechend hohem Wirkungsgrad gibt es von DAS Energy ab 2,5 kg/m².

Hochgedämmte Außenwandkonstruktionen sind mit allen Konstruktionsprinzipien möglich. Fassaden-PV-Systeme werden allerdings fast ausschließlich als In-Fassaden-Systeme für die Leichtfassaden oder hinterlüfteten Fassaden/Kaltfassaden am Markt angeboten.

Diese Konstruktionen sind relativ teuer, basieren auf einem rigiden Fassadenraster und beschränken sich dadurch weitgehend auf den Bürohausbau.

Der Großteil des Gebäudebestands und des Wohnbaus ist mit massiven Wandkonstruktionen als Warmwand ausgeführt. Die mit Abstand häufigste hochgedämmte Außenwandkonstruktion ist das Wärmedämmverbundsystem (WDVS). Dafür gibt es derzeit keine zufriedenstellenden und zugelassenen PV-Systeme.

Forschungsprojekte und Demonstrationsgebäude für BIPV in Kaltwänden / hinterlüftete Fassadenkonstruktion

- Forschungsprojekt: PV@Fassade

Der Schwerpunkt dieses österreichischen Forschungsprojektes war es, neue PV-Module durch die Kombination mit verschiedenen Trägerplatten und Beschichtungsverfahren zu entwickeln.



Abb. 8: PV-Testfassade PV@Fassade [9]

„Durch Bedrucken oder Einfärben der Glasoberflächen (ertex Solartechnik GmbH) oder der Solarzellen (JOANNEUM RESEARCH Materials) im Modul können verschiedene Farbvariationen erzeugt werden. Welchen Einfluss dies auf die Leistung der PV-Elemente hat, wurde am AIT Austrian Institute of Technology experimentell ermittelt. Zahlreiche Verfahren für den Beschichtungsprozess von kristallinen Silizium-Solarzellen konnten getestet und verschiedene Farbmuster hergestellt werden. Auch Kupfer-Zink-Zinnsulfid (CZTS) Dünnschicht-PV-Folien der Firma crystalsol GmbH wurden für die Anforderungen der Gebäudeintegration adaptiert und in mehrfarbigen Mustern ausgeführt. Bei der Firma Sunplugged – Solare Energiesysteme GmbH wird derzeit an Optimierungen von Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIGS) PV-Folien gearbeitet.

Für die Lamination mit PV-Einkapselungsmaterialien wurden bei ertex solartechnik GmbH die optimalen Einstellungen für Poly-vinylbutyral (PVB) gefunden, um die Fassadenplatten mit der PV-aktiven Schicht verbinden zu können. Es konnten Multimaterialverbunde mit Kompakt-Fassadenplatten

der Firma Fritz Egger GmbH hergestellt werden. Aufbauend auf neuen Montage- und elektrischen Leitungskonzepten wurde von der Firma Pasteiner Fassadenbau GmbH ein optimiertes System für Fassadenelemente umgesetzt.

Die entwickelten Mustermodule wurden an einem Mini-Fassadenturm und einer großflächigen Testfassade eingebaut und können nun im Einsatz evaluiert werden. Im Fassadenturm werden die verschiedenen Zelltechnologien u. a. auf den Einfluss der Einstrahlungsrichtung auf das jeweilige Leistungsverhalten vom CTR Carinthian Tech Research GmbH getestet. An der Testfassade bei SFL technologies GmbH in Stallhofen in der Steiermark wurden acht Versuchsfassadenelemente (1 m x 0,7 m) installiert. Über ein Jahr werden die Erträge der Module über eine eigens vom AIT entwickelte Messelektronik gemeinsam mit meteorologischen Daten erfasst, um die Leistungsfähigkeit und Stabilität der PV-Elemente unter realen Bedingungen bewerten zu können. Weiters wird vom CTR eine modulintegrierbare Sensorik für Schlüsselparameter wie Feuchte, Temperatur und mechanische Spannungen entwickelt.

Von den ExpertInnen des OFI werden die neu entwickelten Module auf die Materialverträglichkeit der eingesetzten Komponenten untersucht. Als große Herausforderung hat sich dabei die chemische, thermische und mechanische Stabilität der Materialien im Multimaterialverbund im Laufe von beschleunigten Alterungstests herausgestellt. Aktuell wird an Optimierungen für eine verbesserte Langzeitbeständigkeit gearbeitet“.[9]

„In einer 3-jährigen Forschungs- und Entwicklungsphase konnten innovative BIPV-Elemente mit drei unterschiedlichen Zelltechnologien erarbeitet werden. Die Verbindung von PV-aktiven Schichten mit Fassadenmaterialien, wie einer holzbasierenden Kompaktplatte, zu einem stromliefernden Multimaterialverbund ist gelungen und wird richtungsweisende Wirkung für die Entwicklung neuer BIPV-Elemente haben“.[9]

Die projektbeteiligte Firma SFL Technologies plant und baut innovative Metall/Glas-Fassaden, ist im November 2017 aber in Konkurs gegangen und wird derzeit in stark verkleinerter Form weitergeführt.

Analyse Forschungsprojekt „PV@Fassade“

- Die Schichtaufbauten der hier entwickelten PV-Paneele sind sehr interessant und eröffnen neue Befestigungsmöglichkeiten, sind derzeit aber nur für Pfosten/Riegel-Fassaden-Konstruktionen konzipiert.
- Die farblichen und grafischen Gestaltungsmöglichkeiten der PV-Paneele sind sehr interessant und eröffnen neue Gestaltungsmöglichkeiten.
- Die gewählte Befestigungsmethode eignet sich derzeit nur für Leichtfassaden bzw. Bürobauten.

- **Forschungsprojekt: „Construct PV“**

Im deutschen EU-Projekt Construct-PV war es das Ziel, größenvariable, effiziente und kostengünstige Photovoltaikmodule für die Gebäudehülle zu entwickeln.



Abb. 9: PV-Testfassade Construct PV. [10]

„Der Nachteil vieler BiPV-Konzepte ergibt sich aus der Standardisierung von PV-Modulen, was eine individuelle Fassadengestaltung erschwert. Zudem wirken Rahmen und mechanische Befestigungen herkömmlicher Module mitunter deplatziert und störend. Dass aber auch ästhetisch ansprechende, maßgeschneiderte Lösungen möglich sind, zeigt sich am Z3 in Stuttgart, bei dem 2017 im Rahmen des EU-geförderten Forschungsprojektes Construct PV eine geklebte Photovoltaik-Fassade mit Siebdruckmuster realisiert wurde. Dank eines speziellen, lastabtragenden Klebstoffs von Kömmerling fügen sich die Elemente ganz ohne mechanische Zusatzsicherung in die Architektur ein.

Die Installation der Photovoltaik-Module an der Südfassade des Z3 war der Höhepunkt des Projekts Construct PV, das bereits 2013 initiiert, und von der Ed. Züblin AG koordiniert wurde. Ziel war es, beispielhafte Anwendungen effizienter und kostengünstiger gebäudeintegrierter Photovoltaik für opake Flächen in der Gebäudehülle zu entwickeln. Das niederländische Architekturbüro UNStudio entwarf dazu zunächst eine Musterfassade, mit bereits bestehenden Möglichkeiten der Gebäudeintegration von Solarmodulen“. (30.8.2018) [10]

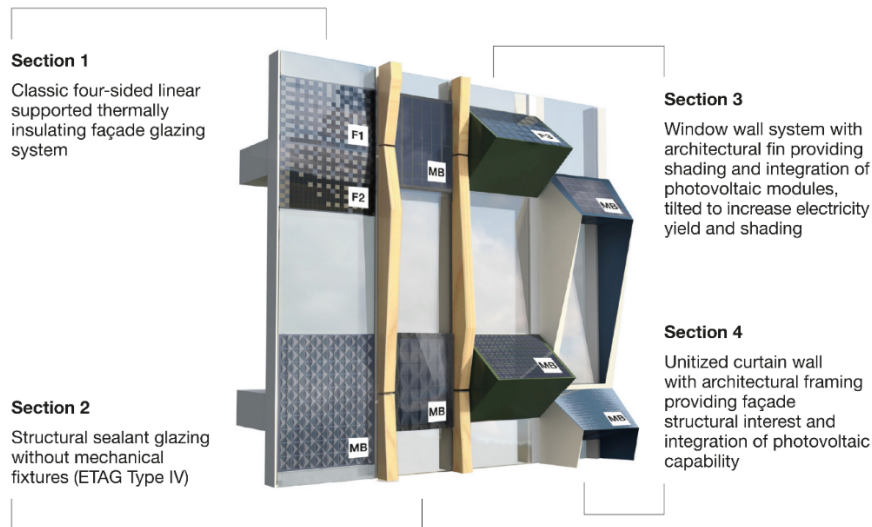


Abb. 10: PV-Testfassade Construct PV. [11]

„Im Rahmen eines Forschungsprojektes, bei dem die Umsetzung gebäude-integrierter PV-Anlagen (Building Integrated Photovoltaics, BIPV) getestet wird, haben die Ed. Züblin AG und die Kömmerling Chemische Fabrik GmbH zusammengearbeitet. Testobjekt ist das Züblin-Bürogebäude Z3 in Stuttgart bei dem PV-Module an der Südfassade lediglich durch eine strukturelle, lastabtragende Klebung befestigt sind - also ganz ohne zusätzliche mechanische Sicherung“. [10]



Abb. 11: Züblin Demonstrationsgebäude (Stuttgart). [12]

„Ausschlaggebendes Regelwerk für Structural Glazing Fassaden ist die Europäische Technische Zulassung 002 (ETAG 002), die Fassadenkonstruktionen in vier Typen unterteilt. Lastabtragende Verklebungen ohne jegliche ergänzenden Haltevorrichtungen werden in der Leitlinie nach Typ IV geregelt. In Deutschland sind bisher nur Systeme mit mechanischem Eigengewichtsabtrag nach Typ I und II zugelassen, so dass eine Dauerbeanspruchung der Klebefuge grundsätzlich nicht zulässig ist. Für die Umsetzung der rein verklebten PV-Module am fünfgeschossigen Z3 musste deshalb eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) beantragt werden. Diese wurde erreicht durch

- einen speziellen Klebstoff und
- einen stufigen Randaufbau der PV-Elemente: So steht die Frontscheibe der Glas-Glas-PV-Module seitlich über. Dieser Stufenaufbau erlaubt die unabhängige Verklebung der Front- und der Rückscheibe auf der Unterkonstruktion, so dass die Lastabtragung aufgeteilt wird.

Den passenden Klebstoff lieferte Kömmerling. Der Spezialist für hochwertige Kleb- und Dichtstoffe unterstützte zudem den Genehmigungsprozess durch rechnerischen Nachweis der notwendigen Klebefugen-Dimensionierung zwischen PV-Modul und Unterkonstruktion. Für die neue Photovoltaik-Fassade des Z3 kam das 2K Structural Glazing Silikon Ködiglaze S zum Einsatz. Structural Glazing - strukturelle Verklebung - bezeichnet die Glasmontagetechnik wie sie beim Züblin-Bürogebäude umgesetzt wurde. Statische und dynamische Lasten auf der Außenfassade wie zum Beispiel Eigengewicht, Wind- und Schneelasten sowie thermische Ausdehnung werden dabei über die strukturelle Verklebung auf die Unterkonstruktion übertragen. Die Wasserdampfsperre für die vom Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE) und Meyer Burger entwickelten PV-Elemente lieferte ebenfalls Kömmerling: Das Butyltape HelioSeal PVS 101 schützt den Modulzwischenraum vor eindringender Feuchte und sorgt somit für die Langzeitstabilität der PV-Paneele.

Nicht nur bei der Befestigung ging das Projekt neue Wege, auch das Innenleben der Photovoltaik-Module birgt technische Neuerungen. Da die vorspringenden Holzlisenen die Module teilweise verschatten, wurde jedes Element elektrisch dreigeteilt und die jeweiligen Zellen entsprechend ihrer Position mit anderen Modulen zusammengeschaltet. So wird selbst dann Energie erzeugt, wenn nur ein Teil eines Paneels von der Sonne beschienen wird“.[10]

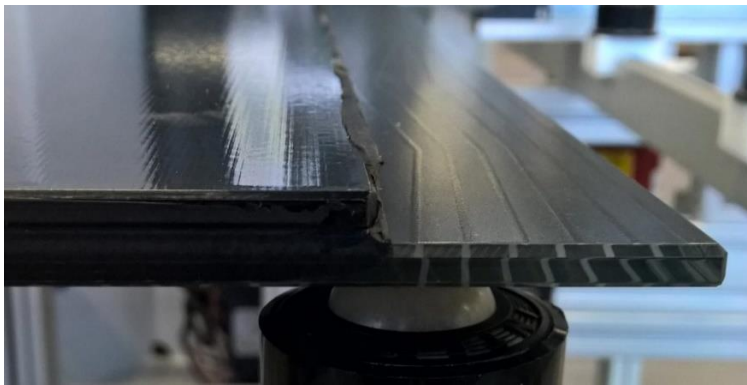


Abb. 12: Stufenfalzklebung der PV-Elemente. [10]



Abb. 13: Züblin Demonstrationsgebäude (Stuttgart). [12]

Analyse Forschungsprojekt „Construct PV“

- Die farblichen und grafischen Siebdrucke der PV-Paneele sind sehr interessant und eröffnen neue Gestaltungsmöglichkeiten.
- Die sehr interessante lastabtragende Klebe-Befestigungsmethode für PV-Module der Kömmerling Chemische Fabrik GmbH ohne (sichtbare) mechanische Absturzsicherung eröffnen neue konstruktive Möglichkeiten. Das erfordert allerdings auch Spezialanfertigungen, weil keine Standard-PV-Module mit Stufenfalz verfügbar sind.
- Sehr auffällig ist sowohl an der Versuchsfassade als auch am Demonstrationsgebäude der hohe Grad der Eigenverschattung der PV-Elemente durch die Fassadengestaltung. Die vertikale Dreiteilung der Verschattung minimiert zwar das Problem, es ist aber trotzdem fragwürdig ein „unnötiges“ Problem aufwendig zu lösen. Auch dadurch sind keine preiswerten Standard-PV-Module einsetzbar.
- Die derzeit gewählte Befestigungsmethode und die PV/Beschattungselemente eignen sich nur für Leichtfassaden bzw. Bürobauten.
- **Forschungsprojekt und Demonstrationsgebäude: „Wohnhaus Solaris“ in Zürich**

Als Planer und Bauherren haben huggenbergerfries Architekten in Zürich einen Neubau mit 10 Mietwohnungen realisiert, bei dem sie einen besonders hohen und nachhaltigen Anspruch umsetzen wollten. Mit einem Team aus Forschung (Fachhochschule Luzern) und innovativen Fachfirmen wurde dabei eine eigene neue PV-Fassadenkonstruktion entwickelt. Das Gebäude ist rundum mit Mono-Silicium-Glas-PV-Paneeelen als stromproduzierende Gebäudehülle belegt. Die Form des Gebäudes ergab je acht Dach- und Fassadenflächen, die unterschiedlich zur Sonne orientiert sind. Das ermöglicht im Tages- und Jahresverlauf einen möglichst gleichmäßigen PV-Ertrag. Das verwendete Gussglas mit seiner strukturierten Oberfläche nutzt das diffuse Sonnenlicht bei bewölktem Himmel besonders gut.



Abb. 14: Straßenansicht des Wohnhauses Solaris (Zürich) [12]



Abb. 15: Dachaufsicht des Wohnhauses Solaris (Zürich) [13]

In Summe erreicht der winterliche PV-Stromertrag ein Viertel der Sommerspitze.

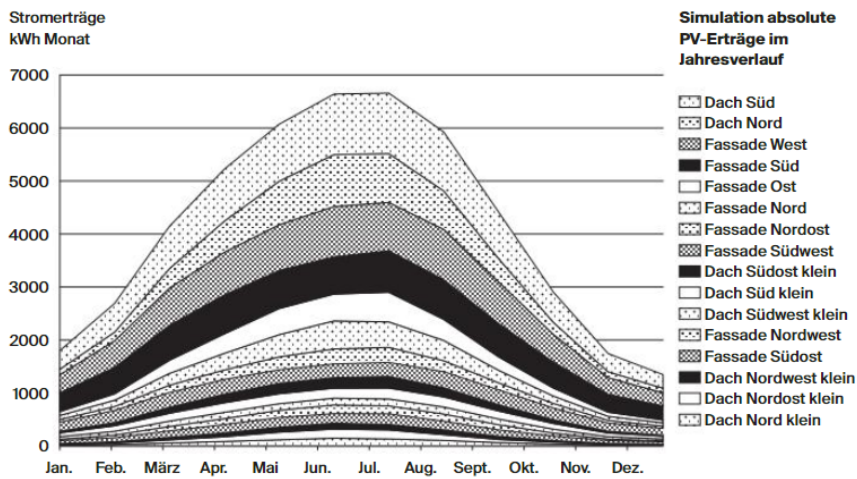


Abb. 16: PV-Stromerträge aller Teilflächen WH Solaris [14]

Die Photovoltaikanlage

1300 Photovoltaikzellen machen an der Fassade oder auf dem Dach von Solaris aus Sonnenlicht Strom. 350 Leistungsoptimierer, kleine schwarze Kästchen (Foto oben) hinter den PV-Modulen, schließen die Zellen zu Einheiten von maximal 80 Stück zusammen. Diese relativ neue Technik hat mehrere Vorteile:

1. Die kleineren Einheiten können bei unterschiedlicher Sonneneinstrahlung oder bei Schattenwurf unabhängig voneinander geregelt werden. So verhindern sie, dass das gesamte System geschwächt wird.
2. Sie bieten mehr Freiheit im Planungsprozess. Bei einer Planung ohne Leistungsoptimierer darf sich an den Modulformaten oder der Anzahl der Zellen nichts mehr ändern.

3. Da die Leistungsoptimierer hintereinander geschaltet werden können, genügt ein Stromkreis («String») pro Fassade. Der Wegfall dicker Kabelbündel war besonders beim taillierten Baukörper von Solaris ein Vorteil.

4. Für jede Einheit kann der Ertrag einzeln ausgewiesen werden, so können Vergleiche gemacht und allfällige Störungen besser lokalisiert werden.

Nachteilig sind die geringfügig höheren Kosten und die nötige Zugänglichkeit für Revisionen.

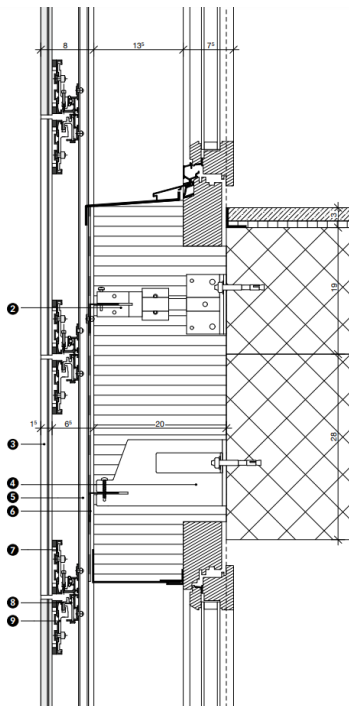
Vier Wechselrichter, einer für jede Hausseite, wandeln im Keller des Hauses den Gleich- in Wechselstrom um. Das Haus ist auf Eigenverbrauch eingerichtet, der zeitgleich stattfindet. Eine relativ kleine Batterie, die optimal auf das Verhältnis zwi-

schen Energieproduktion und Verbrauchsprofil abgestimmt ist, speichert 10 kWh Strom, der Rest geht ins Netz. Durch die Allseitigkeit der PV-Anlage hat sie eine relativ konstante Leistung über den Tag und weniger Stromspitzen. Die Anlage produziert in einem Jahr rund 40 000 kWh, was in der Jahresbilanz 100 Prozent des Eigenbedarfs entspricht. 40 Prozent des gewonnenen Stroms werden übers Jahr gleichzeitig im Haus genutzt (Eigenverbrauchsquote).

Abb. 17: Beschreibung des PV-Konzepts WH Solaris [14]

„Die äußere Schicht besteht aus profiliertem Gussglas in einem handelsüblichen Format (196 x 35 cm). Auf dessen glatte Rückseite wurde mittels Keramikdigitaldruck ein Muster angebracht, das die dahinterliegenden monokristallinen Siliziumzellen verbirgt, ohne sie übermäßig zu verschatten. An das Glas befestigt werden sie mit einer im Vakuumverfahren angebrachten schwarzen PVP-Folie – eine Technologie, die aus dem Fassadenbau für Hochhäuser bekannt ist. Die Folie ist chemisch stabil und altert praktisch nicht. Die Module bestehen also aus Standardkomponenten, die mittels Standardverfahren zusammengefügt wurden. Ihre Kombination dagegen ist neu.

... die Praxis hat erwiesen, dass die Abschattung unserer Module ca. 15 bis 20% beträgt. Damit erreichen sie einen Wirkungsgrad von ca. 13 bis 14%. Mittlerweile liegen die ersten gemessenen Kennzahlen vor. Sie belegen, dass die unsichtbare Photovoltaikanlage rund 56000 kWh Strom pro Jahr produzieren kann, was über dem erwarteten Eigenverbrauch liegt. Der gewonnene Strom dient in erster Linie dem Eigengebrauch; dank der vielfältigen Ausrichtung der Oberflächen ist der Ertrag über den Tag bzw. das Jahr relativ ausgeglichen. Der Überschuss wird in einer 10-kW-Batterie und in der Batterie des Elektroautos zwischengespeichert. Was dann noch übrig ist, wird gegen Rückvergütung ins öffentliche Netz eingespeist. Geheizt wird indes nicht mit elektrischen Wärmepumpen, sondern mit Biogas. ...“[15]



Konstruktionsschnitt:

- ① Photovoltaikmodule ohne rückseitige Folie,
- ② thermisch getrennte Konsole, ③ Photovoltaikmodule mit Relief,
- ④ thermisch getrennte Konsole, ⑤ Hutprofil, ⑥ Fassadenmembran,
- ⑦ Führungsprofil, ⑧ Mittelprofil, ⑨ Glasanker.



Abb. 18: Links: Konstruktionsschnitt der PV-Paneele WH Solaris. Rechts: Darstellung der Befestigung der PV-Paneele WH Solaris. [15]

Die PV-Fassadenplatten sind verdeckt mit geklebten Halterungen auf Alu-Schienen montiert, die von Fassadenankern getragen werden. Diese durchdringen punktförmig die 18 cm Wärmedämmung und mit einer Fassadenmembran als Witterungsschutz überzogene Fassadenkonstruktion. Die elektrische Verkabelung wird in der dabei entstehenden Hinterlüftung geführt. Die Fugen zwischen den PV-Elementen sind 8 mm breit und jedes Modul ist einzeln demontierbar und austauschbar.



Abb. 19: Links: Dachansicht der PV-Paneele WH Solaris. Rechts: Befestigung der PV-Paneele WH Solaris. [13]

Im Bauablauf wurden zuerst die PV-Elemente mit dem Standardformat montiert und von allen Sonderformaten wurden auf der Baustelle Schablonen angefertigt. Mit diesen Schablonen hat der Hersteller, die Fa. Ertex in Amstetten, die Sonderelemente gefertigt.

Analyse Forschungsprojekt und Demonstrationsgebäude: „Wohnhaus Solaris“

- Durch die Personalunion von Architekten und Bauherren, das hohe Baupreisniveau in Zürich und das kompetente Projektteam aus Forschung und innovativen Firmen ist hier ein architektonisches und technisches Leuchtturmprojekt für Plus-Energie-Gebäude entstanden.
- Der Gesamtenergieverbrauch und der Wärmeschutz der Gebäudehülle ist hier noch nicht optimiert und die Wärmeversorgung durch (Bio)-Gas stellt ein suboptimales Gebäudeenergiekonzept dar. Allerdings wird mit Überschussstrom das gemeinsame Elektroauto versorgt.
- Die strukturierte Oberfläche der Glaser, aus denen die PV-Module gefertigt wurden, verhindert glänzend reflektierende Effekte und kann diffuse Himmelsstrahlung sehr gut nutzen.
- Das hier neu entwickelte Herstellungsverfahren für die PV-Elemente ist sehr interessant und eröffnet neue Möglichkeiten für die „Maßanfertigung“ von PV-Modulen. Es kann bei Nachfolgeprojekten sicher kostengünstiger angeboten werden.
- Das verdeckt liegende und geklebte Befestigungssystem ohne mechanische Absturzicherung ist ebenfalls sehr interessant und ermöglicht sehr ästhetische Lösungen, wird aber bei höheren Gebäuden und direkt an öffentlichen Straßen noch nicht einsetzbar sein.

- Forschungs- und Demonstrationsgebäude: Autarkes Mehrfamilienhaus in Brütten (CH)

„In Brütten bei Winterthur haben René Schmid Architekten (und die Umwelt Arena AG als Bauherr) das vermutlich erste komplett energieautarke Mehrfamilienhaus der Welt realisiert. Zahlreiche Industriepartner waren an dem von der Umwelt Arena Spreitenbach initiierten Pilotprojekt beteiligt. Wie bei allen Plusenergiehäusern war auch hier die hohe Energieeffizienz ein Schlüssel zum Erfolg: Die Fenster sind dreifach verglast, Fassaden und Dächer jeweils mit 28 cm Mineralwolle gedämmt. Im

Gegensatz zu vielen anderen hocheffizienten Häusern ist dieses jedoch ein kompletter Massivbau mit tragenden Außenwänden aus 17 cm Ziegelmauerwerk. Die Be- und Entlüftung stellt ein zentrales Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung sicher. Um Lüftungswärmeverluste weiter zu minimieren, können die Fenster im Haus lediglich komplett geöffnet, aber nicht gekippt werden.

Die Haushaltsgeräte entsprechen alle dem höchsten Energiestandard und bei der Mietkostenabrechnung gilt ein Inklusivpreis: In der Wohnungsmiete ist ein sparsam bemessenes, aber prinzipiell ausreichendes Energiebudget enthalten. Wer mehr verbraucht, zahlt am Monatsende drauf. Über Touchscreens können die Bewohner jederzeit einsehen, ob sie verbrauchstechnisch noch »im Soll« liegen. Die hinterlüftete Fassadenverkleidung besteht aus micromorphen Dünnschichtmodulen, die auch bei Diffus- und Schwachlicht gute Erträge liefern. Ihr Deckglas wurde vor dem Einbau sandgestrahlt und hydrophob beschichtet. Laut Eric Langenskiöld vom Ingenieurbüro Basler & Hoffmann beeinträchtigt die Oberflächenbehandlung die Moduleffizienz nicht. Weder in Labormessungen noch im realen Betrieb wurden bisher Ertragsminderungen festgestellt.

Das Dach ist hingegen mit hoch effizienten, monokristallinen Solarzellen belegt. Mit insgesamt fast 1000 m² Fläche und 127 kWp Leistung soll die solare Gebäudehülle einen Jahresertrag von 92 MWh Strom liefern.

Für den energieautarken Gebäudebetrieb ist aber nicht allein die Stromproduktion entscheidend, sondern vor allem die Energiespeicherung. Das Haus verfügt über drei Arten von Speichern – für warmes Wasser, Strom und Wasserstoff. Kurzfristig kann Strom in eine Lithium-Eisenphosphatbatterie mit 153 kWh (netto) Speicherkapazität eingespeist werden. Zur Deckung der energetischen »Winterlücke« wandelt außerdem ein Elektrolyseur sommerlichen Überschussstrom in Wasserstoff um und lagert ihn in zwei unterirdische Wasserstofftanks mit zusammen 120 m³ Fassungsvermögen ein. Im Winter wird der Wasserstoff in einer Brennstoffzelle rückverstromt. Das ist zwar energetisch ineffizient, aber die einzige Möglichkeit, bei einem Gebäude dieser Art im Winter nicht auf Strom verzichten zu müssen.

Außerdem wird der Photovoltaikstrom für den Betrieb der hauseigenen Wärmepumpe genutzt, die Heizwärme und warmes Wasser bereitstellt. Auch sie kann im Sommer bereits für den Winter »vorarbeiten«, indem sie die Wärme in zwei je 125 m³ große Langzeitbehälter einspeist. Diese sind ebenfalls im Erdreich vergraben. Die Wärmepumpe nutzt viererlei Wärmequellen: die Außenluft, zwei je 338 m tiefe Erdsonden und die Abwärme aus der Wasserstoffproduktion, außerdem im Winter den Inhalt der beiden großen Langzeitspeicher. In die Wohnungen gelangt die Wärme über Fußboden- und Wandheizungen“.[16]



Abb. 20: Ansichten Autarkes Mehrfamilienhaus in Brütten [16]



Abb. 21: Montage der PV-Paneele am autarken MFH Brütten [17]

Am Dach wurden 512 m² monokristalline Solarzellen (Leistung 160 W/m²) montiert. Für die PV-Fassade wurden 485 m² rahmenlose Standard-PV-Module (Micromorphe Dünnschicht-Solarzellen, 100–110 W/m²), die in allen Sondergrößen erhältlich sind, an der Außenseite anthrazitfarbenen beschichtet und hydrophobiert.

„Eine weitere Herausforderung war das Montagesystem für die PV-Module. Als Fassadenelemente müssen die Module höhere Sicherheitsanforderungen als in Freiflächen- oder Dachanlagen erfüllen. Gleichzeitig sollten sie eine optisch einheitliche Fläche bilden, die nicht durch Halterungssysteme gestört wird. Und: Die Montage sollte kostengünstig vonstattengehen. In enger Zusammenarbeit zwischen Tragwerksplanern, Photovoltaik-Fachleuten und dem Fassadenbauer entstand die Fassadenkonstruktion, die diese teilweise widerstreitenden Anforderungen erfüllt: Auf die PV-Paneele wurden mit SSG-Verklebung vertikale Profile angebracht, mit denen die Module in die Unterkonstruktion eingehängt werden können. Finite Element-Modellierungen der PV-Module mit aufgeklebtem Montagesystem zeigten, dass mit dieser Konstruktion eine hohe Tragsicherheit der PV-Module auch unter Windlast gegeben ist. Dank einer «minimalinvasiven» Befestigung konnte auch die Wärmebrückenwirkung deutlich verringert werden. ...

Die Gesamtkosten der neuartigen PV-Fassade inklusive aller Montage- und Installationskosten liegen bei ~ 600 CHF/m² – und damit tiefer als der Durchschnittspreis einer Glasfassade. Deshalb wurden auch auf der Nordseite des Hauses PV-Module und keine optisch angepasste Glasfassade verwendet.

Wirtschaftlich interessant wird das neue Fassadenmaterial aber vor allem als Stromlieferant. Der Wirkungsgrad wird durch die Oberflächenbehandlung der Module nicht verringert. ... Gründe dafür sind die diffuse Sonnenstrahlung, die von Dünnschichtzellen besonders gut genutzt wird, und der flache Einstrahlungswinkel der Wirkungsgrad Fassade zu Dach im Sommer und im Winter. Beides erhöht die Ausbeute der Fassade im Vergleich zum Dach. Insgesamt erbringt die Fassade rund 50 Prozent des Ertrags eines optimal ausgerichteten Daches derselben Fläche und trägt damit 37 Prozent zur gesamten solaren Jahresernte des Hauses bei. Bei einem Strompreis von 25 Rp/kWh erwirtschaftet die Fassade pro Jahr 11 CHF/m² (Wartungskosten bereits abgezogen), das Dach, auf dem hocheffiziente monokristalline Solarzellen installiert sind, 33 CHF/m². Nach einer Lebensdauer von 30 Jahren ist die PV-Fassade günstiger als eine verputzte Fassade.

... Bei einem völlig autarken Inselsystem wie dem hier ... muss ... Die Energie durch Speicherlösungen vor Ort «auf Vorrat gehalten» werden. ... Als Kurzzeitspeicher dienen Batterien, die Stromlücken von bis zu drei Tagen füllen können. Als Langzeitspeicher wird mittels Elektrolyse Wasserstoff produziert, der in einem großen Tank aufbewahrt und bei Bedarf über eine Brennstoffzelle verstromt wird. Als thermischer Langzeitspeicher wirken zwei unterirdische Wassertanks mit einem Durchmesser von sechs Metern, die bei Stromüberschuss von der Wärmepumpe aufgeheizt werden und ihr in einer Senke als Wärmespeicher zur Verfügung stehen. In die Wasserspeicher fließt auch die Abwärme aus der Elektrolyse. Dank dieser Speicherkaskade verfügt das Gebäude auch ohne Netzanschluss über eine hohe Versorgungssicherheit“.[3]

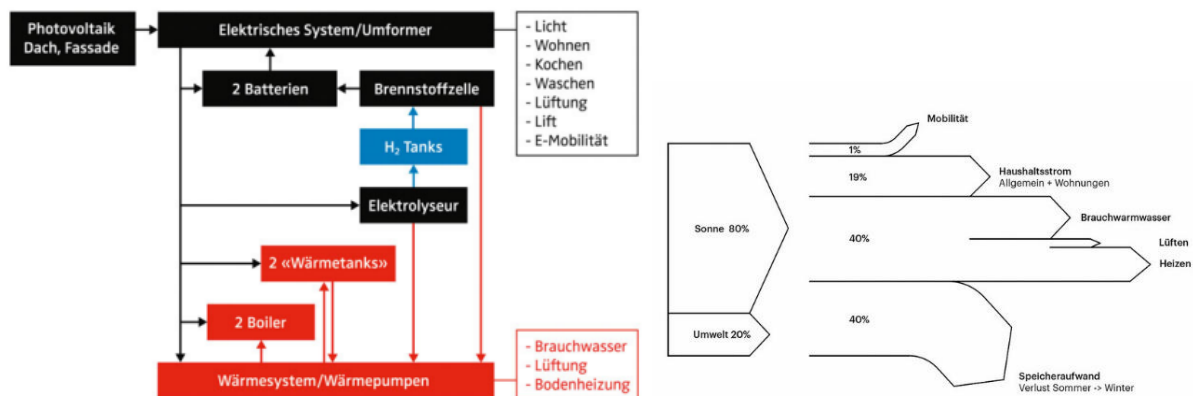


Abb. 22: Funktionsprinzip der Energieversorgung. Autarkes Mehrfamilienhaus in Brütten [3] und Zeichnung [18]

Analyse Forschungsprojekt und Demonstrationsgebäude: „Autarkes Mehrfamilienhaus in Brütten“

- Der Bauherr Umwelt Arena AG und der engagierte Architekt haben hier ein innovatives Pionierprojekt Realität werden lassen. Der Anspruch, unabhängig von allen Energieversorgern energieautonom sein zu können, geht weit über Plus-Energie hinaus, hilft aber diesen Zielen durch neues Wissen und Erfahrungen.
- Neben der hochinteressanten technischen Entwicklung sind hier auch eine architektonisch-ästhetisch beispielhafte PV-Fassade und ein gutes Gebäude gelungen.

- Demonstrationsgebäude: „Boutiquehotel-Stadthalle“ in Wien

Wesentlich kostengünstiger und pragmatischer war die Vorgangsweise beim Boutiquehotel-Stadthalle in Wien.



Abb. 23: PV an der „Feuermauer“ des Boutiquehotels-Stadthalle in Wien [19]

Hier wurde 2009 im dicht verbauten städtischen Bereich des 15. Wiener Gemeindebezirks bei einer sehr ambitionierten Generalsanierung eines Hotels einem mehr als 100 Jahre alten Wiener Gründerzeit-Haus ein Null-Energie-Gebäudekonzept umgesetzt. Dabei wurde an einer südorientierten Außenwand eine PV-Anlage errichtet. Die Montage erfolgte dabei nicht gebäudeintegriert, die PV-Module sind also nicht Teil der Gebäudehülle, sondern auf einer vorgesetzten Unterkonstruktion aus Metallschienen montiert und somit auch eine hinterlüftete Konstruktion.

Erleichtert wurde diese PV-Montage dadurch, dass

- sie im Zuge einer Gesamtsanierung des Gebäudes erfolgte (Sanierung in den PH-Standard),
- auch das Gebäude mit dem begrünten Flachdach im Eigentum der Projektbetreiberin ist (es gibt keine nachbarschaftsrechtlichen Probleme)
- die Dämmung der darunterliegenden Wand mit nicht brennbarem Dämmstoff (Mineralwolle) ausgeführt wurde und
- die verwendeten Glas/Glas-PV-Module mechanisch vor Absturz gesichert sind.

„Die Beheizung und Kühlung der Hotelräume erfolgen über eine Bauteilaktivierung auf Niedertemperaturbasis. In den massiven Betondecken befinden sich Kunststoffrohre, durch die warmes Wasser im Winter und gekühltes Wasser im Sommer zirkulieren. Die Temperierung des Wassers übernimmt eine Wasser/Wasser-Wärmepumpe. Sie nutzt den hauseigenen Brunnen, der aus 15 m Tiefe die Wärmepumpe mit Wasser versorgt. Im Sommer wird das 16 °C kalte Wasser zum Kühlen der Hotelzimmer über die aktivierten Decken genutzt. Im Winter entzieht die Wärmepumpe dem Brunnenwasser die Wärme und kann daraus warmes Wasser bis zu 45 °C erzeugen. Für ein höheres Temperaturniveau kommt die thermische Solaranlage zum Einsatz. 130 m² Kollektorfläche befindet sich aufgeständert auf dem Flachdach des Hotels. Die Solaranlage unterstützt nicht nur die Heizung, sie bereitet auch Warmwasser und wärmt die Frischluft vor, die aus der zentralen Lüftungsanlage in den Passivhaustrakt strömt. Durch Ausnutzung der Temperaturbereiche von 1 bis 25 °C für die

Frischlufthvorwärmung wird der Solargewinn gesteigert. Die Wohnraumlüftung im Neubau erfolgt mit einer Wärmerückgewinnung aus der Abluft von mindestens 90%.

Um auf die Nullenergiebilanz des Passivhausbaus im Jahresmittel zu kommen, muss das Hotel den Stromanteil des Neubaus, den die Heizungs- bzw. Lüftungsanlage im Neubau benötigt, selbst erzeugen. Eine Photovoltaik -Anlage mit 82 m² Modulfläche erzeugt Sonnenstrom. Der Großteil der PV-Module ist auf dem Dach aufgeständert, der Rest an der Fassade montiert“. [19]



Abb. 24: Aufgeständerte PV am Dach und vorgehängt an der Außenwand Boutiquehotels-Stadthalle [19]

Analyse Demonstrationsgebäude: „Boutiquehotel-Stadthalle“

- Die engagierte Bauherrin und das Projektteam haben hier ein beispielhaftes Sanierungs-Projekt realisiert.
- Die PV-Anlage am Dach und der Wand kann auf Jahresbasis den Energiebedarf des Zubaus im Passivhaus-Standard abdecken.
- Die wandmontierte PV-Anlage ist auch mit ihrem Befestigungssystem beispielhaft für vergleichbare Situationen. Das Montagesystem aus Aluschienen ist bis auf die mechanische Absturzsicherung völlig verdeckt liegend.

- Forschungsprojekt: StoSystain R an der TU-Graz

Das grundlegende, vor ca. vier Jahren abgeschlossene Vorprojekt zur Entwicklung des Klettfassadensystems wurde für die Fa. Sto an der TU-Graz am Institut für Architekturtechnologie durchgeführt. Das Projekt „facade4zeroWaste - WDVS als recycelbares Fassadensystem mit Klett-Befestigung“ wurde mit dem Ziel der Erarbeitung eines nachhaltigen, effizienten Nachfolgers für die aktuell vorherrschenden Wärmedämmverbundsysteme entwickelt. Durchgeführt wurde das Projekt von DI. Dr. Ferdinand Oswald und Prof. DI. Roger Riewe.

Das Fassadensystem „facade4zeroWaste“ wurde mit dem Recycling Preis 2015 der European Quality Association for Recycling e.V. (EQAR) ausgezeichnet. Die Preisverleihung fand am 8. Mai 2015 im Rahmen des „Congress of Construction Material Recycling in Europe“ in Rotterdam Niederlande statt.



Abb. 25: Das recycelbare und ausgezeichnete Fassadendämmsystem StoSystem R [20], [21]

Daraus ist das Sto-Klettverschluss-Dübel-System „StoSystain R“ entstanden, das seit 2018 für Wärmedämmfassaden am Markt angeboten werden wird. Projektleiter dafür ist Fa. Sto Herr DI. Ewald Rauter der auch bei diesem Sondierungsprojekt zur Erweiterung der Technologie zu PV-Fassaden beteiligt ist.

Analyse Forschungsprojekt: StoSystem R an der TU-Graz

- Die mit diesem Projekt in die Bautechnik geholte Klettverbindung von Baumaterialien ist sehr interessant und wert, auch für andere Verbindungen von Baukonstruktionen erprobt zu werden. Das wird mit dem Sondierungsprojekt für PV-Fassadensysteme aus leichten Kunststoff-Modulen mit reversiblen Befestigungen für Neu- und Altbauten untersucht.

2. Projektinhalt

2.1. Vorgangsweise und im Projekt angewandte Methoden

Die Vorgangsweise und die angewandten Methoden zu Realisierung des Projektziels der Sondierung für ein einfaches, kostengünstiges und gebäudeintegrierbares PV-Fassaden-System aus Kunststoff-PV-Modulen für den Neubau und für Bestandsgebäude sind

- das Zusammenführen von bereits am Markt verfügbaren Produkten und Komponenten zu einem neuen System und
 - erste Untersuchungen
 - o zur Befestigungstechnik,
 - o zur Bauphysik,
 - o Brandschutz und
 - o zur Elektrotechnik,
- um
- o die Gebrauchstauglichkeit,
 - o die Anwendbarkeitsbereiche und
 - o das Ertrags- und Anwendungspotenzial
- beurteilen zu können und
- o dadurch noch bestehende Mängel, Probleme oder Systemlücken zu identifizieren und
 - o weiterführende Verbesserungsschritte aufzuzeigen und vorzubereiten.

Die neuen relevanten Basisprodukte und Einzelkomponenten, die von den am Projekt beteiligten oder das Projekt unterstützenden Firmen am Markt sind, sind:

- Leichte, kunststoff(folien)-beschichtete PV-Module in Verbindung mit dem
- Befestigungsdübel mit Klettverschlussverbindungssystem

Charakteristik der DAS-Energy PV-Module:

Diese sind

- glaslose,
- semiflexible,
- sehr leichte

PV-Module, in die mono- oder polykristalline Siliziumzellen eingearbeitet werden.

Vorteile der DAS-Energy PV-Module:

- deutlich leichter und dünner als Glas-PV-Module (auch biegsam)
- Oberfläche soll Reflexionen und Verschmutzung minimieren -> daher mehr PV-Ertrag als bei Glas
- Die Größe und Geometrie der PV-Module ist in Vielfachen der Zellgröße (typische 6“ Zellen = 156 mm) variierbar

Nachteile der DAS-Energy PV-Module:

- Polymere Einbettungsmaterialien sind prinzipiell brennbar (allerdings sind in jedem PV-Modul zumindest zwischen den Gläsern zur Einbettung der Zellen solche Materialien eingesetzt)
- Die Leichtigkeit und Biegsamkeit kann für eine stabile Befestigung auch nachteilig sein

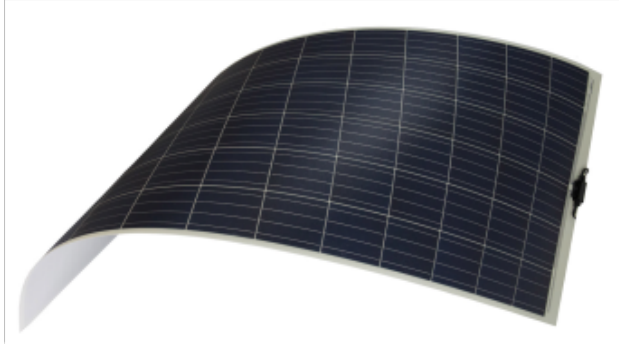


Abb. 26: Das DAS-Energy-Modul [22]

Charakteristik der MiaSole PV-Dünnschichtmodule:

Diese sind

- glaslose,
- sehr flexible und biegbare,
- ultraleichte

PV-Module aus Solarzellen mit CIGS-Dünnschicht-Technologie (copper indium gallium selenide).

Vorteile der MiaSole PV-Dünnschichtmodule:

- deutlich leichter und dünner als Glas-PV-Module (auch stark biegsam)
- Oberfläche soll Reflexion und Verschmutzung minimieren -> daher mehr PV-Ertrag
- Die Größe und Geometrie der PV-Module ist variierbar.

Nachteile der MiaSole PV-Dünnschichtmodule:

- Die Oberfläche ist nicht sehr kratzfest.
- Eine Befestigung der Module ist nur durch Verklebung möglich, für mechanische Befestigungen sind sie zu weich.



Abb. 27: Das MiaSole PV-Dünnschichtmodul [23]

Charakteristik der Sto-Klettverschluss-Dübel (StoSystain R - Klett statt Kleber):

Vorteile der Sto-Klettverschluss-Dübel:

- alle Verbindungen sind stabil aber auch wieder leicht lösbar
- nur sehr dünne Durchdringungen der Wärmedämmung
- die Zahl und Position der Haltepunkte ist beliebig variierbar
- damit ist die Unterkonstruktion der PV-Module sehr preiswert

Nachteile der Sto-Klettverschluss-Dübel:

- die Klettverschluss-Dübel sind großteils aus Kunststoff -> daher brennbar
- der derzeitige weiße Kunststoff ist bei Lichteinfluss langfristig nicht UV-stabil

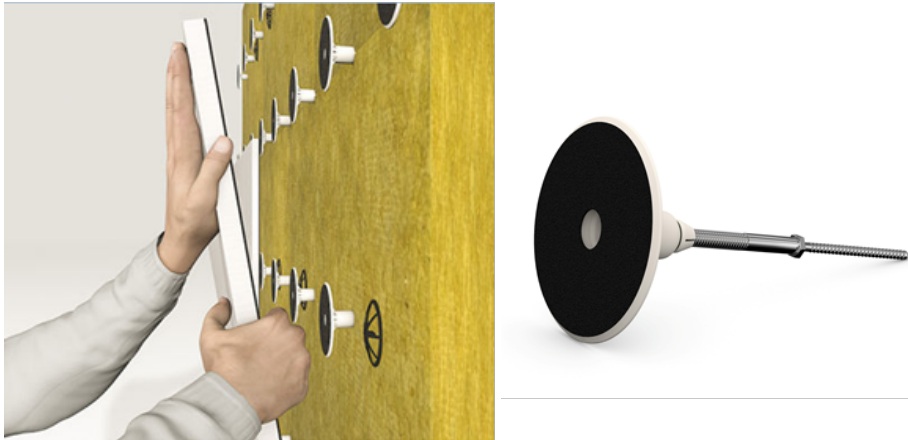


Abb. 28: Der Sto-Klettverschluss-Dübel (StoSustain®R) [24]

Organisatorisch wurden das Sondierungsprojekt in Arbeitspakete unterteilt.

- AP 1: Projektmanagement
- AP 2: Materialbeschaffung und Bau von Fassaden-Mock-Ups
- AP 3: Befestigungstechnik an den Fassaden-Mock-Ups
- AP 4: Bauphysik und Brandschutz
- AP 5: PV-Elektrotechnik
- AP 6: Stärken und Schwächen Analyse, Bewertung, Potenzialabschätzung

Diese wurden je nach den Kompetenzen der Projektpartner bearbeitet.

2.2. Umsetzung der angewendeten Methoden und sich ergebende Probleme

Dieses Sondierungsprojekt ist sehr praxisorientiert und wurde auch sehr praxisnah umgesetzt.

Der dem Projekt zugrunde gelegte Terminplan konnte nur durch sehr große Flexibilität und eine perfekte Projektkoordination umgesetzt werden, da der Projektverlauf durch enorme Schwierigkeiten bei der Beschaffung und Anlieferung des Kunststoff-PV-Moduls der US-Fa. MiaSole geprägt war.

AP 2: Materialbeschaffung und Bau von Fassaden-Mock-Ups

Die wesentlichsten Einzel-Komponenten des Projekts sind die beiden Kunststoff-PV-Module. Die Fa. DAS-Energy hat die für unser Projekt notwendigen Sonderformate prompt und zum Selbstkostenpreis zur Verfügung gestellt.

Beim US-Hersteller MiaSole ist es kurz nach Projektbeginn zu einem Eigentümerwechsel gekommen, der auch eine Veränderung des Produktionsprozesses und der Preise mit sich gebracht hat. Das führte zu einer enorm schwierigen Kommunikation und ständig verschobenen Terminen. Im April musste das Projektkonsortium dann die Entscheidung treffen, dieses Produkt durch ein schnell verfügbares Glas-

PV-Modul zu ersetzen. Das war nicht nur Ersatz, sondern ermöglichte zusätzlich auch den direkten Vergleich der beiden Modul-Typologien. Als das MiaSole-Produkt später doch verfügbar war, hat sich der Projektpartner Sto bereit erklärt, die Tests auf drei Produkte auszuweiten und zwei zusätzliche und formatbedingt größere Mock-Up-Flächen bauen zu lassen.

Diese wurden am TU Wien-Freigelände Aspanggründe errichtet. Dabei wurde auf Punktfundamenten eine Holzkonstruktion gebaut und mit extrastarken Gipskartonplatten (Rigips Habito) doppelartig beplankt. Diese wurden nach der Verspachtelung mit einem Feuchtigkeitsschutz beschichtet. Darauf wurde, wie bei einer wärmegeämmten Außenwand, in den zwei Stärken 8 und 24 cm ein Wärmedämmverbundsystem (WDVS) aufgebracht. Dieses bildete den Untergrund für die Montageversuche von PV-Paneelen.

Die Abmessungen der Mock-Up-Flächen ergeben sich aus der durchschnittlichen Geschoßhöhe von Wohnbaugebäuden (ca. 300 cm) und einer sinnvollen Mindestbreite für die Montage der PV-Module.



Abb. 29: Links: Beginn der Fundamentarbeiten. Rechts: Beplankung mit Rigips Habito GK-Platten (eigene Darstellung)



Abb. 30: Links: Doppellagige Beplankung und Verspachtelung Rechts: Beschichtung mit Feuchtigkeitsschutzschicht (eigene Darstellung)



Abb. 31: Links: Die erste Dämmstoffplatte Rechts: Montage des Dämmstoffs 8 und 24 cm stark (eigene Darstellung)



Abb. 32: Links: Armierungsbeschichtung Rechts: Beschichtung mit weißem, mitteldickem Putz (eigene Darstellung)



Abb. 33: Links: Die fertigen leeren Testwände (eigene Darstellung) Rechts: Lageplan und Stromkabel © ViennaGIS



Abb. 34: Montage der PV-Paneele auf den Mock-Up-Testflächen (eigene Darstellung)

Auf diesen errichteten Testflächen wurden die PV-Module montiert, wobei mehrere Versuche betreffend die Montageart und die Position und Anzahl der Befestigungspunkte durchgeführt wurden.

AP 3: Befestigungstechnik an den Fassaden-Mock-Ups

Ziel des Projekts ist es, eine einfache, leichte, kostengünstige, stabile und doch leicht lösbare Befestigungstechnik für PV-Module zu entwickeln, die bei Gebäuden mit WDVS-Fassaden nur minimal-invasiv in die Gebäudeaußenhaut eingreift und nur minimale Wärmebrücken verursacht. Dabei wurden bei den Versuchswänden zwei Konstruktionsvarianten, mit je dreimal 8 cm Wärmedämmung (wie bei älteren WDVS-Fassaden) und je dreimal 24 cm (für aktuelle WDVS-Fassaden) ausgeführt.

Die für das Fassadensystem „StoSystain® R“ entwickelten Klettdübel drücken durch den Teller den Dämmstoff an die Wand und tragen mittels der Klettverbindung, die auf die Teller aufgeklebt ist, die Platten der Außenverkleidung.



Abb. 35: Das Fassadensystem „StoSystain® R“ [21]

In diesem Projekt wurde untersucht, mit diesem Dübel auch ein Befestigungssystem für PV-Module zu entwickeln. Um eine tragfähige Verbindung zum Untergrund der wärmedämmten Wand herzustellen, wurden die gleichen Gewindestangen aus rostfreiem Edelstahl verwendet. Darauf werden die Klett dübel-Köpfe aufgeschraubt. Anders als im Originalsystem, wo die Teller des Klett dübels komplett in den Dämmstoff hineingedreht werden, müssen sie für die PV-Paneele vor dem Außenputz positioniert werden. Damit ergibt sich für die tragenden Gewindestangen, die auch in der Dimension M8 verwendet wurden, eine größere Auskragung. Als Gegenstücke für die Klettverbindung wurden auf der PV-Paneelseite „Flasch“-Materialstücke im Format von ca. 15 x 15 cm aufgeklebt.

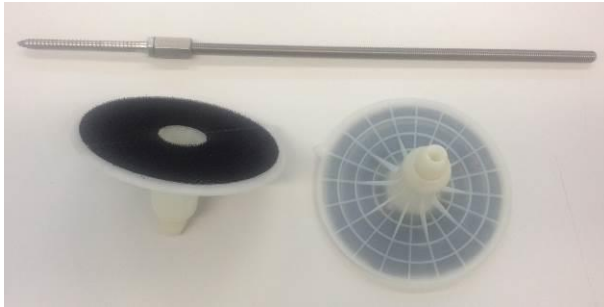


Abb. 36: Der Klett dübel mit Edelstahl-Gewindestange (eigene Darstellung)



Abb. 37: Klett dübel und Gewindeschraube montiert, Flaschgewebe mit Kleber und aufgeklebt (eigene Darstellung)

Dazu wurden im Direktauftrag durch die Fa. Sto durch die OFI Technologie & Innovation GmbH und später auch an der TU-Wien Klebeversuche für die verschiedenen Kunststoffe der PV-Module und dem Flaschmaterial durchgeführt. Die ursprüngliche Konzeption, die Befestigungstechnik nur mit den Klett dübeln durchzuführen, hat sich nach vielen Montageversuchen als nicht zielführend und für den Baustellenbetrieb als nicht geeignet erwiesen. Zur maßgenauen Montage der PV-Paneele fehlte die Justiermöglichkeit und zum Lösen der Klettverbindungen muss vom Rand her der Zugriff mit einer Trennpachtel möglich sein. Das funktioniert nur dann, wenn die Klett dübel nur an einer Seite des Paneels, am besten von unten, positioniert werden. Deshalb wurden zusätzlich eigene justierbare Einhäng-Befestigungen entwickelt.

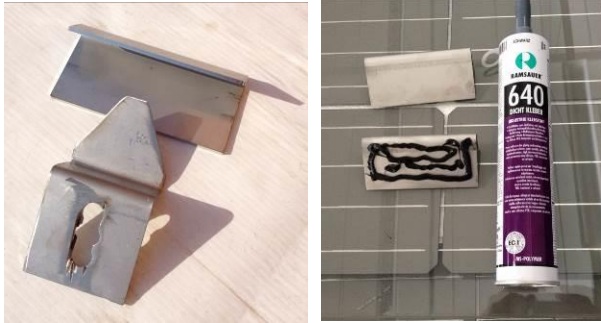


Abb. 38: Justierbarer Befestigungshaken und aufkleben des gekanteten Blechwinkels (eigene Darstellung)

Auf der Rückseite der Paneele wurde dabei an den beiden oberen Ecken ein hakenförmig gekantetes Blech aufgeklebt. Als Kleber wurde nach einer Fachberatung und eigenen Versuchen der Silikonkleber 640 der Fa. Ramsauer verwendet. Das Blech wurde in die an der Wand montierten, vertikal justierbaren Befestigungshaken eingehängt.

A.) Montage der Glas-PV-Module der deutschen Fa. SolarWatt

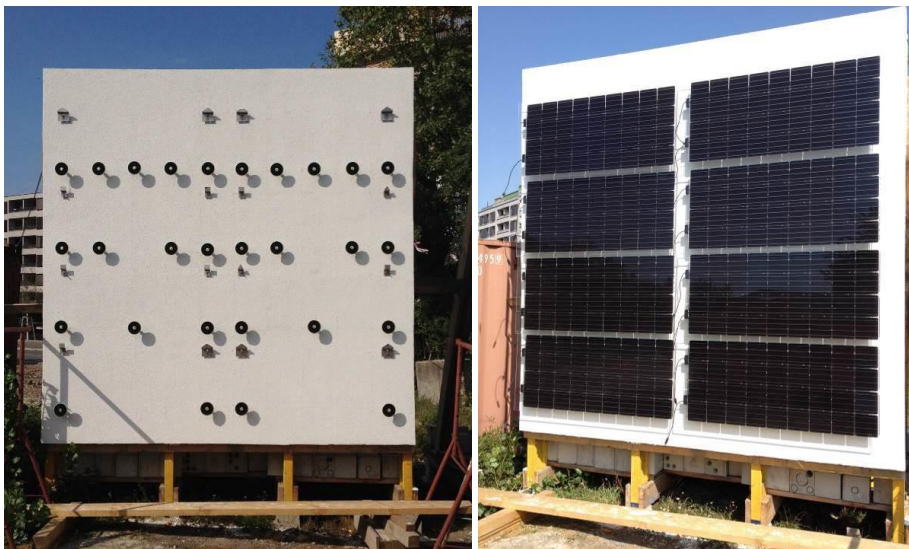


Abb. 39: Links: Fertig montierte Befestigungspunkte Rechts: Eingehängte und fixierte PV-Paneele (eigene Darstellung)

Dabei wurde in der untersten Reihe die Minimalvariante mit vier Befestigungspunkten, je zwei Einhängehaken und je zwei Klettbefestigungspunkte, ausgeführt. Nach oben hin wurde in jeder Reihe je ein Klettbefestigungspunkt zusätzlich ausgeführt. Das ergibt dann für die vierte und oberste Reihe an der PV-Paneel-Unterkante je fünf Klettbefestigungspunkte. Damit soll im Langzeitversuch die optimale Zahl an Befestigungspunkten ermittelt werden.

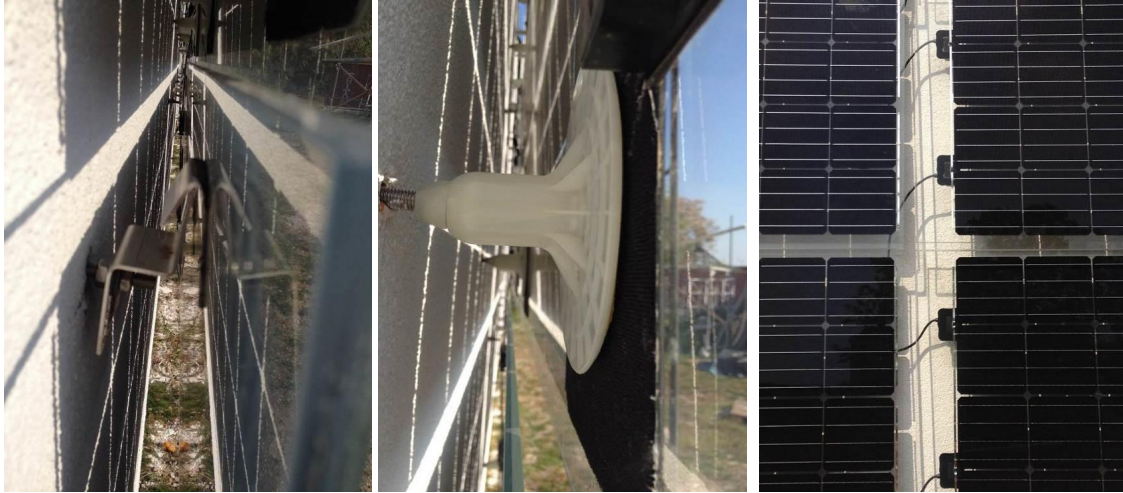


Abb. 40: Links: Der tragende Einhänge-Haken; Mitte: Der Klettdübel mit der Flauschfläche; Rechts: Ausschnitt der vor der Fassade „schwebenden“ SolarWatt-PV-Module (eigene Darstellung)

Wie erwartet, erweisen sich die aus dem StoSystem® R -System kommenden und die Justier-Einhänge-Haken tragenden Gewindestangen mit einem Durchmesser von 8 mm als zu schwach dimensioniert.

Vor allem hängt das PV-Paneel im Moment des Einhängens zuerst nur an diesen beiden Einhängen. Erst wenn es auch an Klettdübel angepresst wird, verteilt sich das zu tragende Gewicht gleichmäßig auf alle Befestigungspunkte. Die auftretenden Durchbiegungen können in weiteren Entwicklungsschritten aber leicht durch stärkere Schrauben bzw. Gewindestangen minimiert werden.

Bei den an der Unterkante positionierten Klettdübel-Befestigungen kann die Anzahl an das Modulgewicht angepasst werden. Daher kann hier die Dimension M8 beibehalten werden.

Durch die verdeckt liegende Anordnung der Befestigungspunkte bekommen die transparenten Glas-PV-Module optisch eine frei vor der Fassade schwebende Wirkung. Das ergibt ein sehr interessantes Schattenspiel mit einem Sonnenuhr-Effekt.

Die verwendeten PV-Module der Fa. WattSolar sind 25 kg schwer, 8 mm dick, 81 cm hoch und 125 cm breit. Ein Gewicht von 25 kg stellt auch die obere Grenze für eine von zwei Personen händisch durchgeführte Montage dar.

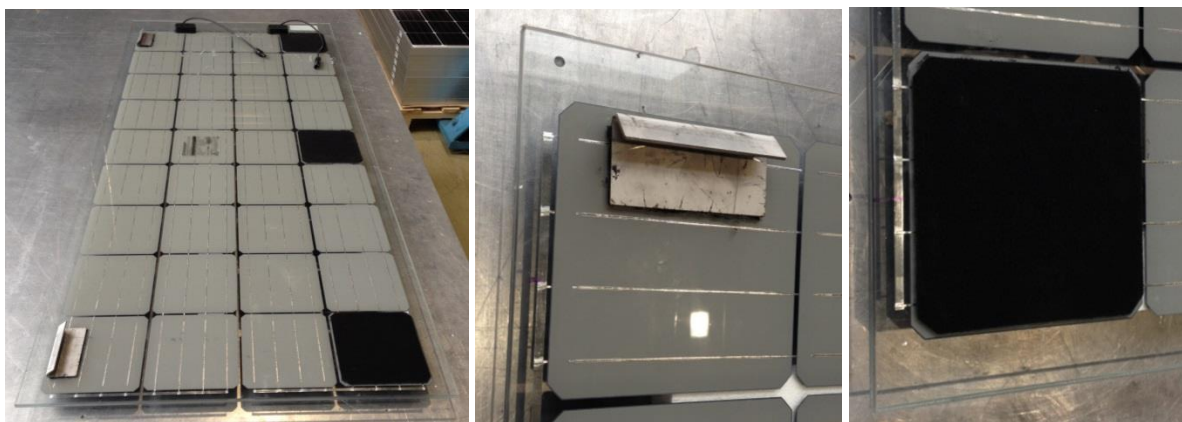


Abb. 41: Links: Montagehaken und Flauschmaterial; Mitte: aufgeklebter Montagehaken; Rechts: aufgeklebte Flauschfläche (eigene Darstellung)

B.) Montage der Kunststoff-PV-Module der österreichischen Fa. DAS-Energy

Die DAS-Energy PV-Module haben eine Tragplatte (hochbeständiges PET) und eine Deckschicht aus Kunststoff (ETFE-Folie), sind 4 mm stark und haben ein spezifisches Gewicht von 3,3 kg/m². Die Produktionsbreite beträgt 991 mm. Es wurden Module mit einer Länge von 1975 mm verwendet.

Da hier bei der Befestigung das Gewicht kein Problem ist, muss sich diese nur an der Sturmfestigkeit orientieren. Dazu wurden sowohl auf der „Altbestands-Versuchswand“ links mit 8 cm Dämmstoff und der „Neubau-Versuchswand“ rechts mit 24 cm Dämmstoff jeweils vier justierbare Befestigungshaken an der Oberkante und vier Klettdübel an der unteren Kante montiert. Die so eingehängten und angeklebten PV-Module überlappen dachziegelartig um ca. 2 cm. Dadurch wird Regen abgeleitet und die Module stabilisieren sich gegenseitig. Um einzelne Module wieder lösen und austauschen zu können, kann eine Klettlösespachtel von unten zwischen die Module zu den Klettdübeln eingeschoben werden.



Abb. 42: Die montierten Befestigungselemente (links) und die montierten DAS-Energy-Module (rechts) (eigene Darstellung)

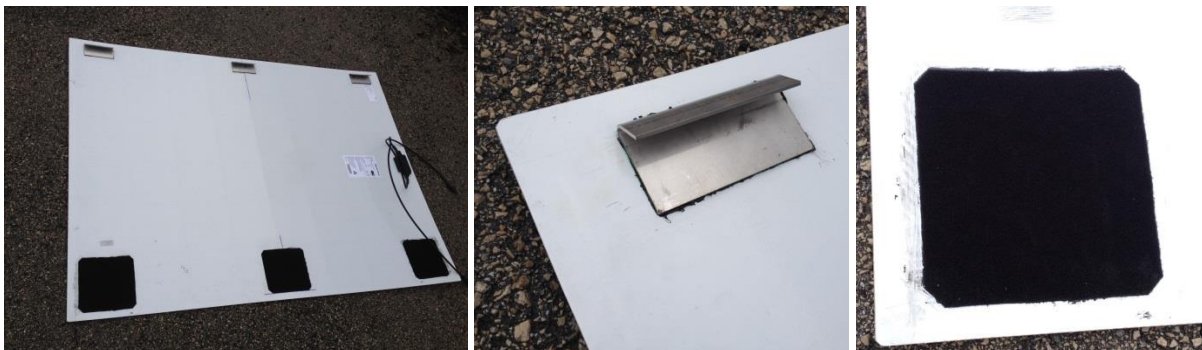


Abb. 43: Links: Montagehaken und Flauschmaterial; Mitte: aufgeklebter Montagehaken; Rechts: aufgeklebte Flauschfläche (eigene Darstellung)

C.) Montage der Kunststoff-PV-Module der US-Fa. MiaSole

Die MiaSole PV-Module haben eine Tragfolie und eine Deckschicht aus Kunststoff, sind 2,5 mm stark und haben ein spezifisches Gewicht von 2,4 kg/m². Die Produktionsbreite sind 1000 mm und es wurden Längen von 1356 mm und 1940 mm bezogen. Im Vergleich der drei PV-Modultechnologien ist das MiaSole-Produkt am leichtesten und am flexibelsten (oder weichsten). Das hat Vor-, aber auch Nachteile.



Abb. 44: Die montierten Befestigungselemente und die Montage der MiaSole-Module. (eigene Darstellung)

Ein Vorteil ist die leichte Handhabung durch das geringe Gewicht, schwierig ist dadurch die Befestigungstechnik. Daher wurde zur Aussteifung des Moduls an der oberen Kante eine durchgängige Einhängeschiene aus Aluminium aufgeklebt. An der unteren Kante wurden wieder Flauschflächen aufgeklebt.

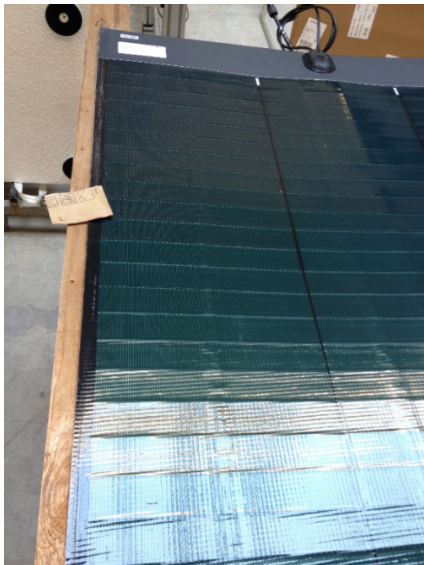


Abb. 45: Ausschnitt eines MiaSole-PV-Modul. (eigene Darstellung)

Materialspezifische Nachteile sind die geringe Kratzfestigkeit der Oberfläche und die Staubschichtbildung an der Oberfläche durch elektrostatische Anziehung.



Abb. 46: Mit Fingern zusammengeschobener, anhaftender Staub auf MiaSole. (eigene Darstellung)

Für eine Langzeitbeobachtung ist der Typus eines Sondierungsprojekts mit der Dauer von einem Jahr zu kurz, aber das Jahr 2018 ermöglichte doch erste Beobachtungen. Der Sommer war sehr warm mit vielen Sonnenstunden. Hier zeigten sich bei der Befestigungstechnik keinerlei Probleme bei den Kunststoffmodulen, speziell beim Modul von DAS-Energy zeigten sich leichte Wölbungen der Module.

Die Wetterlage im Herbst 2018 bot bei zwei großen Stürmen die Möglichkeit, die Beanspruchung und das Verhalten der auf die Versuchswände montierten PV-Module bei starken Sturmböen zu beobachten. Trotz zum Teil massiver Schäden in der näheren Umgebung, z.B. der Sperre des Hauptbahnhofs Wien, gab es an der Versuchsanlage keinerlei Probleme oder Schäden.

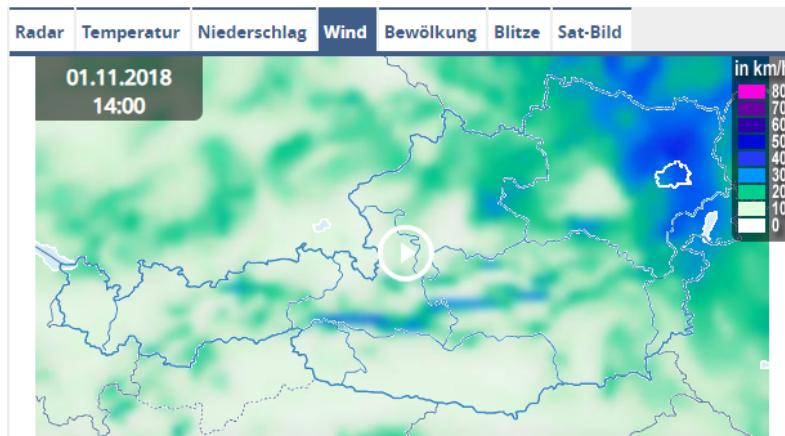


Abb. 47: Wetterkarte zum Herbststurm 2018 [25]

AP 4: Bauphysik und Brandschutz

Für die durch die Befestigungsschrauben entstehenden punktförmigen Wärmebrücken wurden bauphysikalische Berechnungen durchgeführt. Bei 8 mm Edelstahl ist der sehr geringe χ -Wert von 0,0042 W/K zu berücksichtigen. Das ergibt bei vier Dübeln pro Quadratmeter gesamt 0,0168 W/K und wird durch den zusätzlichen Energiegewinn durch die PV in der Energiebilanz weit überkompensiert. Es sind keine Schimmelschäden durch Unterschreitung des Taupunkts an der inneren Außenwandoberfläche zu erwarten. Bei Verwendung von guten thermisch entkoppelten Schwerlastankern wie z.B. IT-Fix von Etanco wäre die Wärmebrücke in der Gebäude-Energiebilanz komplett vernachlässigbar.



Abb. 48: IT-Fix Schwerlastanker mit thermischer Trennung und Distanzstück. [26]

Die mögliche Einleitung von Körperschall durch vom Wind verursachte Schwingungen der Paneele über die Befestigungsschrauben in das tragende Mauerwerk konnte in diesem Projekt nicht erfasst werden.

Dazu ist eine Montage in massives Mauerwerk eines Gebäudes mit akustischen Messungen im Rahmen eines Nachfolgeprojekts notwendig.

Für die Montage von PV an einer Außenfassade eines Gebäudes ist der Brandschutz ein ganz entscheidendes Kriterium. Dazu wurde von Ing. Christian Lebeda eine Inhaltsanalyse von themenrelevanten wissenschaftlichen Quellen durchgeführt.

Dabei ist das Brandverhalten nach drei Bereichen zu unterscheiden:

- PV-Systeme als Zündquelle (Erkenntnisse aus Brandfällen, ...)
- Gefahren und Auswirkungen bei Bränden mit PV-Systemen
- materialrelevanten Aspekten von PV-Systemen (PV-Module als Brandlasten, Arten der Materialisierung im Sinne von Stoffgruppen, welche bei Modulen zu Einsatz kommen)

Die brandschutztechnischen Anforderungen an PV-Fassaden ergeben sich in Abhängigkeit der Gebäudeklasse GK (beispielsweise bei Wohn- und Bürogebäuden) bzw. aus den Fassadenanforderungen für Betriebsbauten.

Tabelle 1: Anforderungen an die Fassaden nach der OIB Richtlinie 2 (Auszug aus der Tabelle 1a) [27]

Gebäudeklassen (GK)	GK 1	GK 2	GK 3	GK 4	GK 5	
					≤ 6 oberirdische Geschoße	> 6 oberirdische Geschoße
1 Fassaden						
1.1 Außenwand- Wärmedämmverbundsysteme	E	D	D	C-d1	C-d1	C-d1
1.2 Fassadensysteme, vorgehängte hinterlüftete, belüftete oder nicht hinterlüftete						
1.2.1 Gesamtsystem <i>oder</i>	E	D-d1	D-d1	B-d1 ⁽¹⁾	B-d1 ⁽¹⁾	B-d1
1.2.2 Einzelkomponenten						
- Außenschicht	E	D	D	A2-d1 ⁽²⁾	A2-d1 ⁽²⁾	A2-d1 ⁽³⁾
- Unterkonstruktion stabförmig / punktförmig	E / E	D / D	D / A2	D / A2	D / A2	C / A2
- Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	E	D	D	B ⁽²⁾	B ⁽²⁾	B ⁽³⁾
1.3 sonstige Außenwandbekleidungen oder -beläge	E	D-d1	D-d1	B-d1 ⁽⁴⁾	B-d1 ⁽⁴⁾	B-d1
1.4 Gebäudetrennfugenmaterial	E	E	E	A2	A2	A2
1.5 Geländerfüllungen bei Balkonen, Loggien u. dgl.	-	-	-	B ⁽⁴⁾	B ⁽⁴⁾	B
(1) Es sind auch Holz und Holzwerkstoffe in D zulässig, wenn das Gesamtsystem die Klasse D-d0 erfüllt;						
(2) Bei einer Dämmschicht/Wärmedämmung in A2 ist eine Außenschicht in B-d1 oder aus Holz und Holzwerkstoffen in D zulässig;						
(3) Bei einer Dämmschicht/Wärmedämmung in A2 ist eine Außenschicht in B-d1 zulässig;						

Weitere brandschutztechnisch relevante Anforderungen an die Fassade werden im Abschnitt 3.5 der OIB Richtlinie 2 gestellt. Es gilt, dass bei der GK 4 und 5 eine Brandweiterleitung über vorgehängte hinterlüftete, belüftete oder nicht-hinterlüftete Fassaden in das zweite über dem Brandherd liegende Geschoß und ein Herabfallen großer Fassadenteile wirksam eingeschränkt werden muss. Analoge

Anforderungen gelten für die Doppelfassaden und Vorhangfassaden, wobei hier als zusätzliche Anforderungen eine Brandausbreitung über die Zwischenräume im Bereich von Trenndecken bzw. brandabschnittsbildenden Decken wirksam eingeschränkt werden muss. Diese Anforderung ist von besonderer Relevanz im Zusammenhang mit dem Befestigungssystem einer gebäudeintegrierten PV-Fassade bzw. der Hinterlüftung der PV-Module. Spezielle Anforderungen an eine gebäudeintegrierte Photovoltaikfassade werden in der OIB Richtlinie 2 nicht gestellt.

Das PV Modul selbst besteht aus einem Materialmix mit unterschiedlichen Anteilen und Arten von brennbaren Stoffen. Dieser Anteil kann vergleichsweise klein (bspw. bei Glasmodulen) aber auch sehr groß (bspw. bei Modulen die komplett aus Kunststoffen gefertigt sind) sein. Je nach Art des PV-Moduls (Glas oder Kunststoff) wird dieses in unterschiedlichster Art und Weise zu einer Brandfortleitung an der Fassade beitragen.

Brandschutztechnisch ist auch das Material der hinter dem Modul befindlichen Gebäudedämmung zu beachten. Im Zusammenhang mit der Modul-Hinterlüftung hat dieses Material großen Einfluss auf das Brandverhalten der Fassade. In Bezug auf die Verhinderung der Brandfortleitung an der Fassade kann beispielsweise die geschossweise Unterteilung der PV Fassade mittels Brandsperren erfolgen.

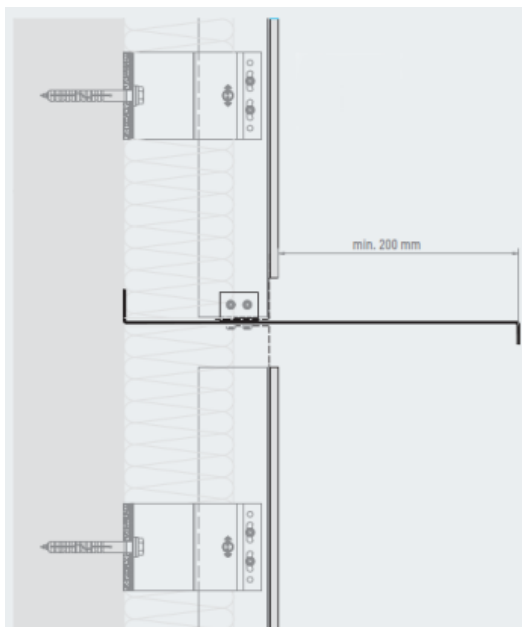


Abb. 49: Möglichkeit einer Brandsperre bei hinterlüfteter Fassade. [28]

Es sind im Gegensatz zu konventionellen Fassaden bei PV-Fassaden weitere Aspekte zu untersuchen. Dazu gehören unter anderen:

- Führung der Verkabelungen der Module durch die Brandsperren,
- Einfluss der aus der Fassadenebene heraustretenden Brandsperren auf die Verschattung der PV Module,
- Ausnutzung der Fassade (verfügbare Fläche unter Vermeidung von Verschattungseffekte),
- Materialisierung der PV Module

Tabelle 2: Gebäudetypus und notwendige formale Nachweise nach EN 13501-1 und ÖNORM B 3800

Gebäudetypus nach OIB	Formale Nachweise
Gebäudeklasse 1-3	Nachweis des Brandverhaltens der Fassade/Fassadenkomponenten. Anforderungen nach EN 13501-1.
Gebäudeklasse 4 und 5	Nachweis des Brandverhaltens der Fassade/Fassadenkomponenten. Anforderungen nach EN 13501-1 und positiver Nachweise nach/in Anlehnung an ÖNORM B 3800-5 bzw. ÖNORM B 3800-6 (in Abhängigkeit des Fassadentyps)

Speziell für eine Anwendung von PV-Fassaden bei Gebäuden der Gebäudeklasse 4 und 5 nach OIB besteht weiterer Untersuchungs- und Forschungsbedarf. Schwerpunktmäßig sollten die folgenden Aspekte untersucht werden:

- Systematische Untersuchung des Brandverhaltens (nach EN 13501-1) von Systemkomponenten der in der Fassade verbauten PV-Anlage. Dies ist im Speziellen für die Module, die Verkabelungen und die Befestigungen durchzuführen. Sofern andere Anlagenteile (z.B. Wechselrichter) in/an der Fassade montiert werden, sind diese ebenfalls in die Untersuchung mit einzubeziehen.
- Entwicklung und brandschutztechnische Untersuchung von konstruktiven Lösungen, um eine Brandfortleitung in das zweite über dem Brandherd liegende Geschoß und ein Herabfallen großer Fassadenteile wirksam einzuschränken. Ansätze dafür finden sich in der konstruktiven Ausgestaltung von Holz- bzw. Holzwerkstofffassaden bzw. hinterlüfteten Fassaden.

AP 5: PV-Elektrotechnik

Die am AIT durchgeführten Tests hatten das Ziel, in einer ersten Annäherung die Wechselwirkung zwischen der Montageart, dem PV-Stromertrag und der Langzeitbeständigkeit des Gesamtsystems zu erfassen. Dazu wurden Tests in Anlehnung an die Bauartzulassung von PV-Modulen nach IEC 61215-1 und -2:2016, durchgeführt:

- MQT 19.1 Anfangsstabilisierung im stationären Sonnensimulator,
- MQT 06.1 Messung der Strom-Spannungskennlinie und Leistungsbestimmung bei STC im gepulsten Sonnensimulator
- MQT 05 Bestimmung der Betriebstemperatur NMOT bei Bestrahlung
- MQT 20 Zyklischer, mechanisch-dynamischer Belastungstest nach IEC TS 62782:2016

Tabelle 3 gibt eine Übersicht der Eigenschaften und Kenndaten der verwendeten Photovoltaikmodule.

Tabelle 3: Übersicht: Technische Daten der verwendeten PV-Module.

Hersteller	Solarwatt	DAS Energy	DAS Energy	Miasole	Miasole
Type	Vision 36M	Flex 12x6p	Flex 8x6p	Flex-03M 42C	Flex-03M 28C
Länge/Breite/Dicke (mm)	1550×710×9	1975×990×3	1340×990×3	1940×995×2	1356×995×2
Fläche (m ²)	1.10	1.78	1.33	1.93	1.33
Masse (kg)	25.0	6.7	5.1	4.6	3.3
spezif. Masse (kg/m ²)	22.7	3.8	3.9	2.4	2.5
Front-/Backsheet	Glas/Glas	ETFE/PET	ETFE/PET	ETFE/PA	ETFE/PA
Zelltechnologie	mc-Si	pc-Si	pc-Si	CIGS	CIGS
Zellabmessungen	156×156mm ² /Ø210mm	156×156mm ²	156×156mm ²	310×44mm ²	310×44mm ²
Zellfläche (cm ²)	244.3	243.61	243.61	136.4	136.4
Zellen ges. (in Serie)	36 (3×9)	72 (6×12)	48 (6×8)	126 (3×42)	84 (3×28)
Zellen parallel	1	1	1	3	3
Nennleistung P _{MP} (W)	165	305	204	280	190
Nennspannung U _{MP} (V)	19.2	37.38	24.92	22.6	15.1
Nennstrom I _{MP} (A)	8.71	8.19	8.19	12.41	12.51
Leerlaufspannung U _{OC} (V)	23.4	45.69	30.464	28.1	18.7
Kurzschlussstrom I _{SC} (A)	9.02	8.69	8.69	14.1	14.1
Zellwirkungsgrad η _C (%)	18.8%	17.4%	17.4%	16.3%	16.6%
Modulwirkungsgrad η _M (%)	15.0%	17.1%	15.4%	14.5%	14.3%
Füllfaktor FF (%)	78.2%	76.8%	77.1%	70.7%	72.1%
Leistungs-Temp.koeff. γ (%/°C)	-0.39%	-0.39%	-0.39%	-0.38%	-0.38%

¹ Sowohl bei kristallinen, waferbasierten Zellen als auch bei verschiedenen Dünnschichttechnologien kann es anfangs zu einer lichtinduzierten Degradation (LID) im Bereich von einigen % der Nennleistung kommen.

² Kennlinien-Messung nach IEC 60904-1:2006 bei Standardtestbedingungen (STC): Zelltemperatur 25°C, homogene Einstrahlung von 1000 W/m² senkrecht auf die Oberfläche bei terrestrischem solaren Spektrum mit Air Mass 1.5 nach IEC 60904-3:2016.

³ Anstelle des sonst ausgeführten Outdoor-Tests zur Bestimmung der Normalbetriebstemperatur (NMOT) frei aufgeständerter Module wurden Tests im stationären Sonnensimulator mit 2×40 kWh Bestrahlung bei 1000 W/m² durchgeführt.

⁴ Derzeit enthält die Prüfsequenz für PV-Module mit MQT 16 einen statischen Test für Windsog und -druck bzw. statische Schneelast. Es ist beabsichtigt, zusätzlich den Test nach IEC TS 62782:2016 "Photovoltaic (PV) modules - Cyclic (dynamic) mechanical load testing" als MQT 20 in die nächste Edition der Modul-Typprüfung zu integrieren.

Die Tests, die für die Bauartzulassung von PV-Modulen und nicht für den Test einer Anordnung von Modulen auf einer Trägerplatte konzipiert wurden, wurden entsprechend modifiziert, um damit erste Aussagen zur Funktion der PV-Module bei Montage und Betrieb mit der Klettdübel-Befestigung treffen zu können. Für die Tests im stationären Sonnensimulator und zur mechanischen Belastungsfähigkeit am AIT wurde für jeden PV-Modultyp eine Tragplatte gebaut. Bestimmend für die Konstruktion war dabei, dass der stationäre Sonnensimulator am AIT eine maximale Elementhöhe von 17 cm zulässt. Daher wurden, gleich wie bei den Freiland-Testflächen, zwei Habito-Gipskartonplatten (2 x 1,25 cm) miteinander verklebt. Darauf wurde 4 cm starkes EPS aufgebracht und mit Spachtelung, Glasgewebe und einer Deckputzschicht beschichtet. Unterhalb wurde ein 2 cm hoher Holzrahmen montiert. Diese drei Testflächen wurden dann von der TU-Werkstatt zum AIT transportiert.



Abb. 50: Links: Aufkleben von Dämmstoff auf Tragplatten Rechts: Komplette Lage mit 4 cm Dämmstoff (eigene Darstellung)



Abb. 51: Links: Beschichtung mit Armierungsschicht Rechts: Beschichtung mit Deckputzschicht (eigene Darstellung)

Dort wurden dann die Justier- bzw. Befestigungshaken und die Klettübzel montiert und die PV-Module testhalber montiert. Zum Transport der Testflächen zu den Messgeräten wurden sie wieder demontiert und für den Betrieb im stationären Sonnensimulator und zu den mechanischen Belastungstests jeweils wieder eingebaut.

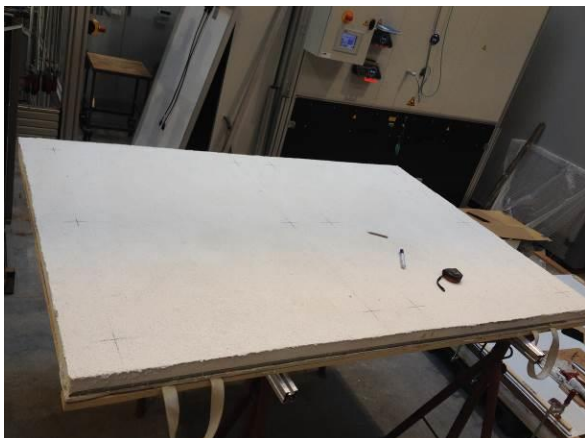


Abb. 52: Links: Markieren der Schraubenpositionen Rechts: Versetzen der Tragschrauben (eigene Darstellung)



Abb. 53: Links: Montieren der Einhängehaken und Klettsteller Rechts: Probemontage der PV-Module (eigene Darstellung)



Abb. 54: Links: Transport der Testflächen Rechts: Einheben der Testflächen in den Prüfstand (eigene Darstellung)

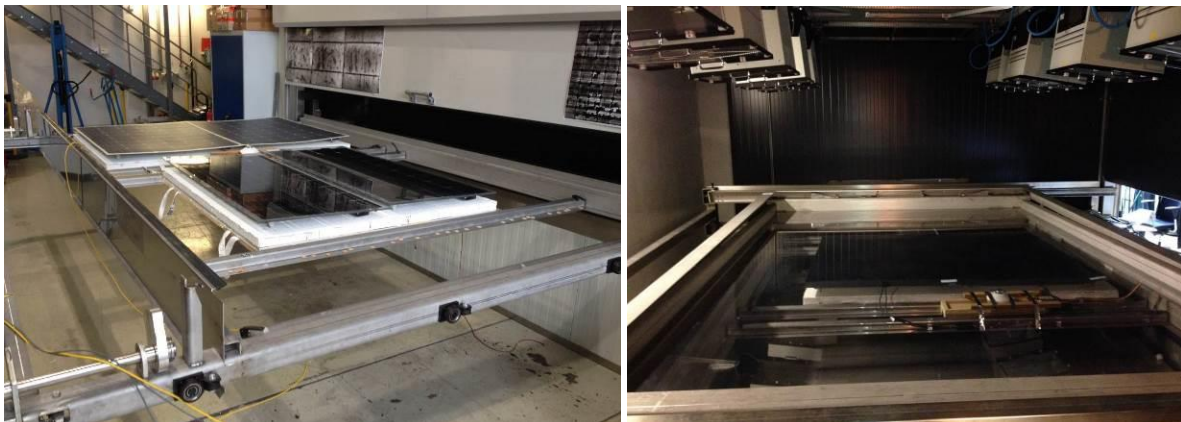


Abb. 55: Links: Montage der PV-Module Rechts: Prüfung im stationären Sonnensimulator (eigene Darstellung)

A.) Leistungsmessung der Module im gepulsten Solarsimulator:

Bei Anlieferung und nach einer Bestrahlung mit 40 kWh im Leerlauf bei 1000 W/m^2 wurde die Leistung bei 25°C , 1000 W/m^2 und AM 1.5 (Standardtestbedingungen) und bei niedrigerer Bestrahlungsstärke bestimmt. Dazu wurde am AIT der große ($3 \times 3 \text{ m}^2$) gepulste A+A+A+ PASAN High^{LIGHT} Solarsimulator verwendet, siehe Abb. 56:.

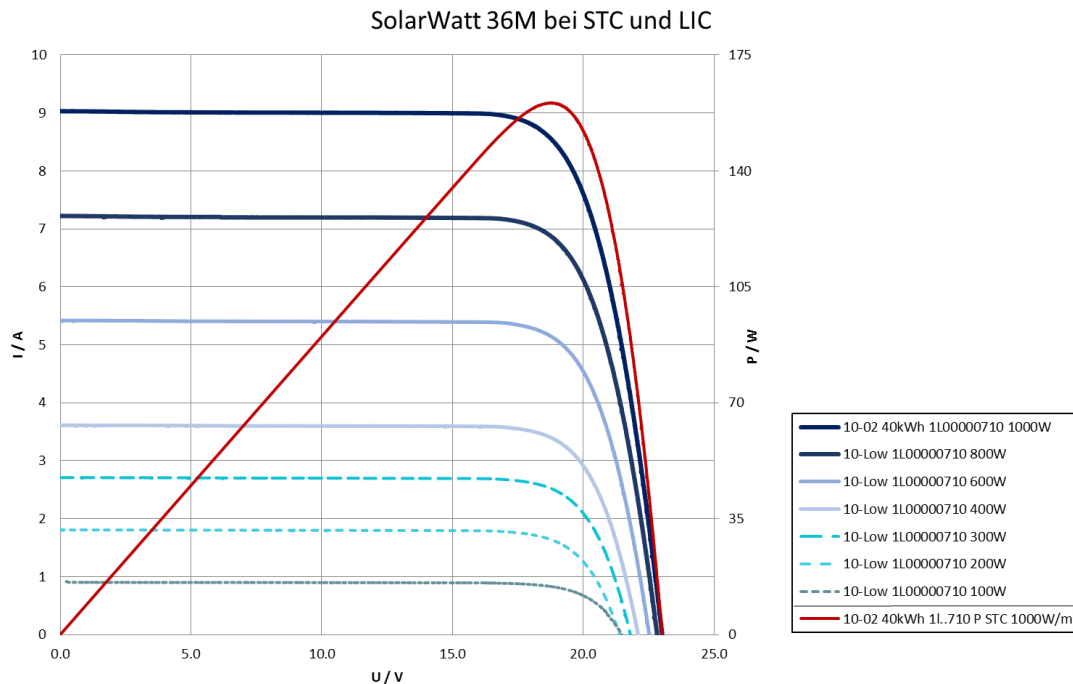


Abb. 56: I-U (Strom-Spannungs-) Kennlinien (blau) eines SolarWatt 36M Moduls nach Messung im gepulsten Solarsimulator bei 1000 W/m^2 (STC) und niedrigerer Einstrahlung von 800 W/m^2 ... 100 W/m^2 . Rot: Leistungsverlauf bei STC – Punkt maximaler Leistung: $P = 160.6 \text{ W}$ bei 18.74 V und 8.57 A .

Die gemessenen Leistungen aller Module waren unter Berücksichtigung der gegebenen Messunsicherheit und der von den Herstellern angegebenen Toleranzen im Bereich der Datenblattwerte.

B.) Betrieb der Module auf den Testflächen im stationären Solarsimulator:

Während im gepulsten Simulator die Temperatur des Prüfobjekts durch die Klimatisierung auf 25°C eingestellt ist und während der ca. 1/10 Sekunde dauernden Messung praktisch konstant bleibt, wird im stationären Simulator mit 40 kW (9 kW Strahlungsleistung in der Prüffläche durch 10 Solarlampen á 4 kW elektrisch) geheizt, weshalb diese Leistung durch Wärmetauscher permanent abgeführt werden muss. Dadurch stellt sich nach einiger Zeit im Betrieb² ein quasistationäres Gleichgewicht ein. Diese Gleichgewichtstemperatur wurde für ein Standardmodul (Glasfront/Kunststoffrückseite, gerahmt, Siliziumzelltechnologie) auf 50°C eingestellt. Die Tabelle 4 auf Seite 52 stellt die Betriebsergebnisse gemeinsam mit den Ergebnissen der Nachttests zusammen.

Hier zeigte sich, dass die Montage von PV mit guter Hinterlüftung auf einem WDVS die Modultemperatur nur um $4,3 \text{ K}$ erhöht. Das ist keine relevante, die Lebensdauer oder den Stromertrag beeinflussende Größenordnung. Daher ist aus dieser Sicht eine Kombination dieser Komponenten zu einem Gesamtsystem möglich. Die elektrischen Nachttests (Kennlinien- und Leistungsmessung, Elektrolumineszenz-Aufnahmen) zeigten keine Änderung zum Ausgangszustand.

² Die je zwei in Serie verschalteten Module auf den Testflächen und das Referenzmodul wurden in ihrem Punkt maximaler elektrischer Leistung (MPP) betrieben.

C.) Mechanische (dynamische) Belastungstests der Modulmontage auf den Testflächen:

Bei den Tests nach IEC TS 62782:2016, die in die neue Edition 2 der IEC 61215 Serie zur Modul-Bauartzulassung integriert werden sollen (Veröffentlichung 2019 oder 2020) ist ein Test mit 1000 Zyklen einer wechselnden Druck- und Sogbelastung von ± 1000 Pa vorgesehen. Hier konnte in allen Fällen nur ein einziger Zyklus ausgeführt werden:

Bei Prüfungen zur mechanischen Belastbarkeit (IEC 61215 Ed.2) zeigten die naturgemäß sehr steifen WattSolar-Glas-Module bei den Druck-/Sogtests nur geringfügige Durchbiegungen. Die Klettdübel-Befestigungen zeigten keine Schwächen. Die Befestigungsschrauben und die Einhäng-/Justierhaken verbogen sich aber soweit, dass sie drohten auseinander zu rutschen. Daher wurde der Sogtest hier abgebrochen. Die Befestigungsschrauben und zum Teil auch die Einhäng-/Justierhaken hatten sich soweit verbogen, dass sie auch nach dem Ende der Sogbelastung keine ausreichende Befestigungsmöglichkeit mehr darstellten. Dieses Problem kann in einem nächsten Entwicklungsschritt behoben werden. Da das Glas-Modul in sich keine Festigkeitsprobleme hat, würde damit ein ausreichend stabiles Gesamt-Befestigungssystem zu Verfügung stehen.



Abb. 57 Links: Das SolarWatt-Modul beim Drucktest Rechts: Knapp vor dem Auseinanderrutschen beim Sogtest (eigene Darstellung)

Die PV-Module der Fa. DAS-Energy aus Kunststoffen biegen sich in der horizontalen Position durch das Eigengewicht bereits leicht durch. Bei Druckbelastung werden sie mit starken Verformungen gegen die Rückwand gedrückt.



Abb. 58: Links: DAS-Energy-Modul mit Verformung durch Eigengewicht Rechts: und maximaler Druckbelastung (eigene Darstellung)

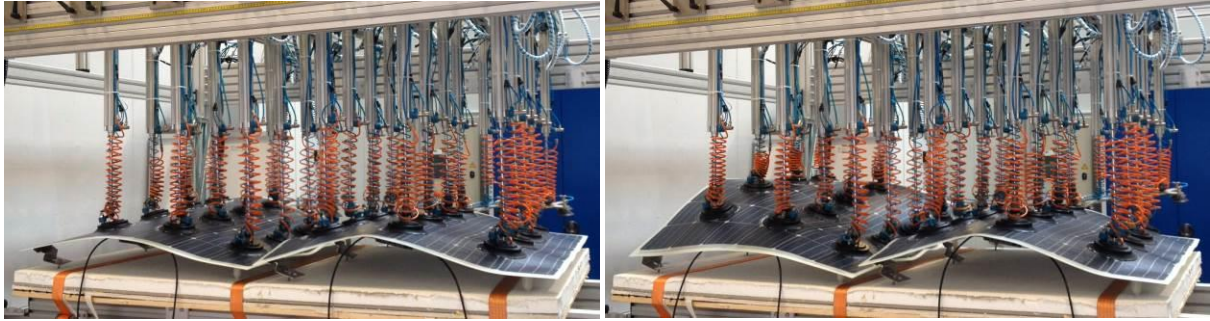


Abb. 59: Links: DAS-Energy-Modul Verformung durch Sogbelastung Rechts: das linke Modul ist bereits losgerissen (eigene Darstellung)

Beim linken Modul rutschten der mittlere und rechte Einhänghaken aus dem Gegenstück am Modul heraus. Daher wurde auch dieser Sog-Test hier abgebrochen. Die Befestigungsschrauben und zum Teil auch die Einhäng-/Justierhaken hatten sich auch hier dauerhaft verbogen. Dieses Problem kann in einem nächsten Schritt behoben werden. Die Klettdübel-Befestigungen mit dem aufgeklebten Flauschteil zeigten keine Schwächen. Problematisch sind vor allem die starken Verformungen der Module selbst. Dadurch wird der maximale Biegeradius für die Silizium-Wafer überschritten und es entstehen Mikrosprünge, welche die Lebensdauer der PV-Module stark reduzieren. Die nachträgliche Flash-Untersuchung zeigte, dass viele monokristallinen Solarzellen durch die Verformungen gebrochen waren. Hier muss im nächsten Schritt in Zusammenarbeit mit dem Hersteller nach Verbesserungsmöglichkeiten gesucht werden. Erwartungsgemäß haben sich hier die sehr weichen MiaSole-Module anders verhalten. Auch diese wurden beim Drucktest mit starken Verformungen gegen die Rückwand gepresst.

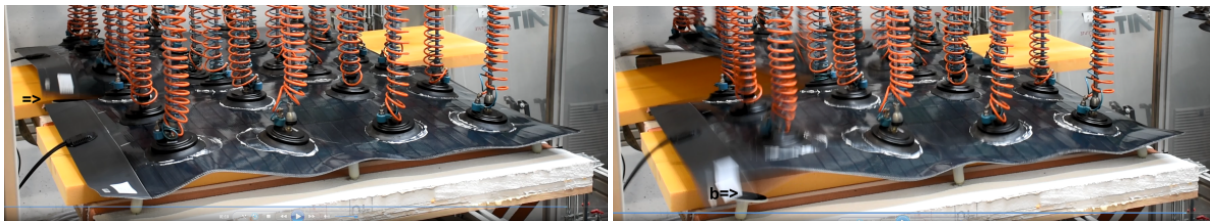


Abb.60: Links: Die MiaSole-Modul Verformung bei Sogbelastung Rechts: Links hinten ist ein Modul bereits losgerissen. (eigene Darstellung)

Überraschend war, dass sich durch die starken Verformungen, trotz Fettcreme unter den Saugknöpfen der Testanlage, diese sich vom PV-Modul lösten, wodurch der Test automatisch abgebrochen wurde. Davor hatten sich bereits zwei Klettdübel-Befestigungen gelöst. Dies scheint durch die spezifische Form der Testanlage gefördert zu werden. Der seitlich neben dem Klettdübel ansetzende Saugknopf löst von der Seite das Modul vom Klettdübel. Bei einem ganzflächig auftretenden Windsog könnte dieses „Abrollen“ aber nicht stattfinden.

Die Tests zeigen, dass diese Testanlage³ (Prüfungen zur mechanischen und dynamisch-mechanischen Belastbarkeit) für weiche PV-Paneele nicht geeignet ist.

A.) Ergebnisse der elektrischen Nachtests: Kennlinien- und Leistungsmessung, Elektrolumineszenz-Bilder.

Die Strom-Spannungskennlinien der SolarWatt-Module sind ident zu den in Abb. 56: dargestellt.

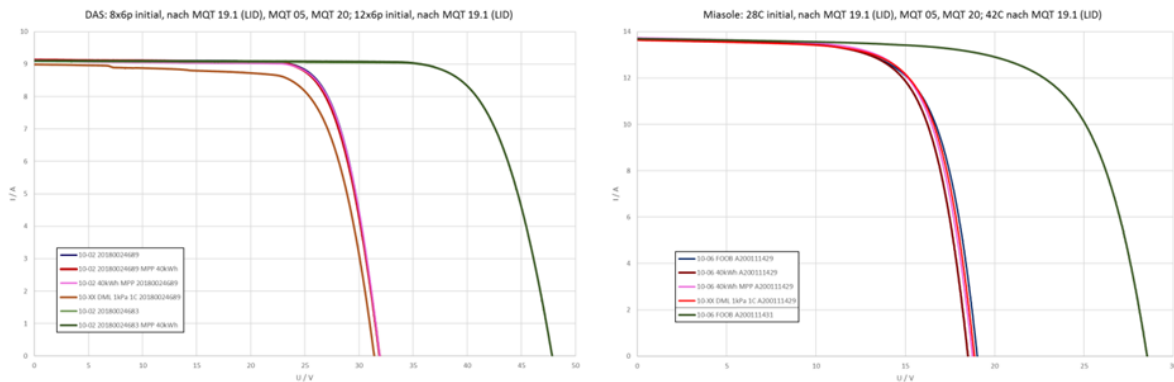


Abb. 61: Links: DAS 8x6p u. 12x6p I-U Kennlinien bei STC Rechts: MiaSole 28C u. 42C I-U Kennlinien bei STC.

Von den DAS-Modulen sind in Abb. 61 die Kennlinien eines 12x6p (eingesetzt im Mock-Up auf den Aspanggründen der TU-Wien) und eines Moduls, das am AIT getestet wurde (initial, nach Erwärmungstest, nach mechanischer Belastung) dargestellt. Die Abb. 61 stellt in gleicher Weise die Ergebnisse der Kennlinienmessung für MiaSole 42C (nun auf Aspanggründen) und 28C (AIT) dar. Die Änderung der Leistung nach (dynamischer) mechanischer Belastung (DML) s. Tabelle 4.

Tabelle 4: Übersicht Erwärmungstest bei MPP und mechan. Belastungstest; Nachtests: Leistung bei STC.

Hersteller	Referenz	Solarwatt	DAS Energy	Miasole	Einstrahlung
Type	INFS001-12	Vision 36M	Flex 8x6p	Flex-03M 28C	CMP11 Pyran.
Länge/Breite/Dicke (mm)	520x370x33	1550x710x9	1340x990x3	1356x995x2	je 46 kWh/m ²
Temperatur	49.4°C	51.9°C	47.6°C		946W/m ²
Temperatur	49.6°C			49.5°C	995W/m ²
Nach Erw.test: ΔP_{MP} (%)		0.03%	-0.45%	0.10%	1000 W/m ²
Nach DML.test: ΔP_{MP} (%)		-0.02%	-6.64%	-0.40%	1000W/m ²

Wird im Dunkeln Strom durch die Zellen von PV-Modulen geschickt, wird Licht im nahen Infrarotbereich emittiert, das mit einer Elektrolumineszenz-Kamera (EL-Kamera) aufgenommen werden kann, siehe Abb. 64.

³ Üblicherweise werden bei den Normtests viermal so viele, kleinere Saugnäpfe verwendet, die wesentlich gleichmäßigere Druck- und Sogkräfte aufbringen. Für die biegesteifen SolarWatt Module macht dies keinen Unterschied. Allerdings konnte mit diesen kleineren Saugnäpfen auf der strukturierten Oberfläche der DAS-Module keine ausreichende Haftung erreicht werden, weshalb die größeren Saugnäpfe verwendet wurden.

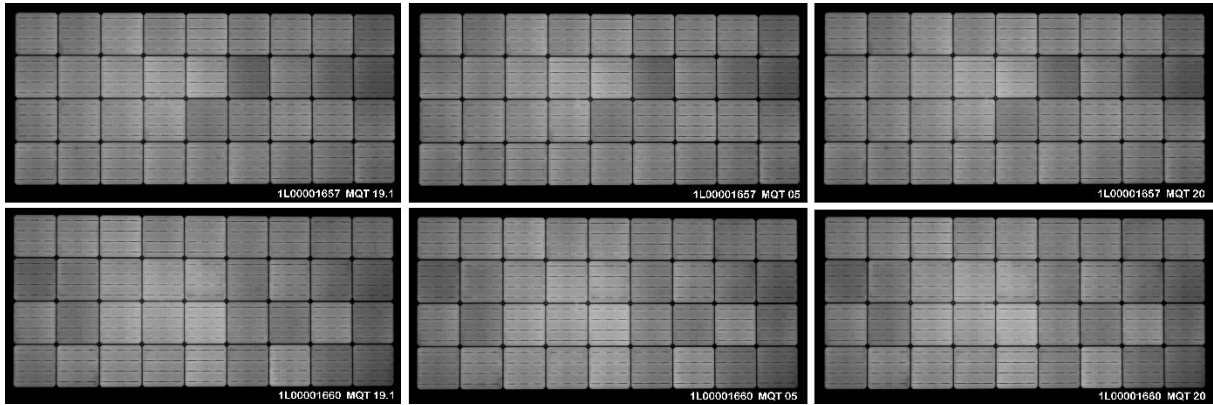


Abb. 62: EL-Aufnahme SolarWatt: Links: initial; Mitte: nach Temperaturtest; Rechts: nach mechanischer Belastung. (eigene Darstellung)

Die SolarWatt-Module zeigen idente EL-Bilder vor und nach den Tests.

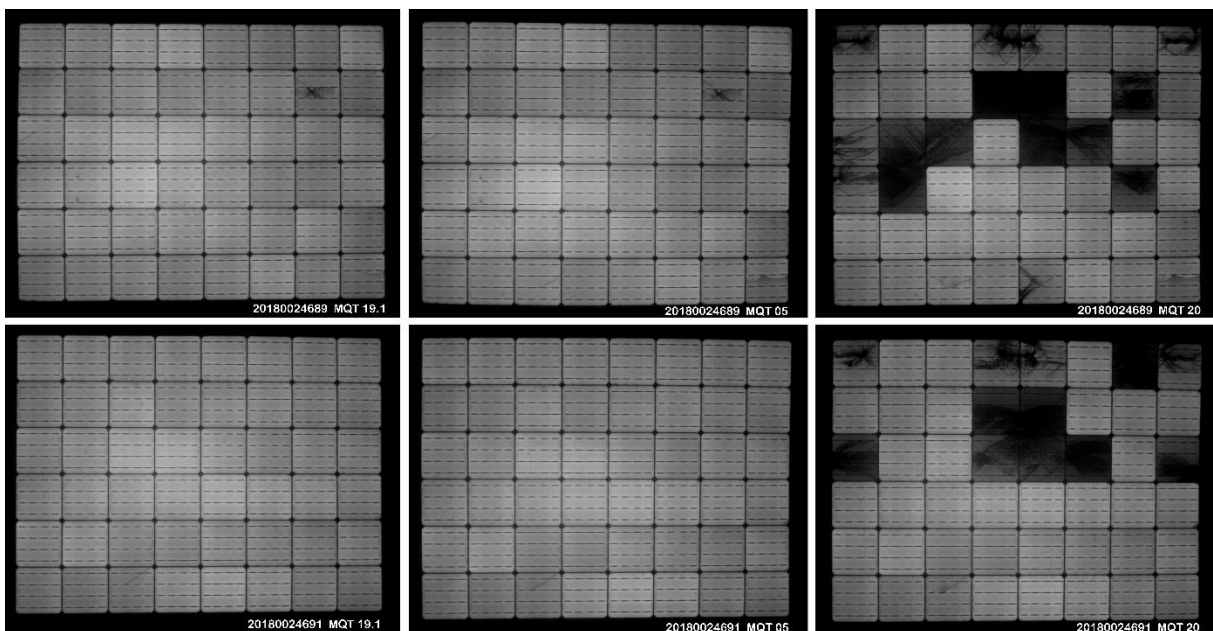


Abb. 63: EL-Aufnahme DAS: Links: initial; Mitte: nach Temperaturtest; Rechts: nach mechanischer Belastung. (eigene Darstellung)

Die DAS-Module zeigen ebenfalls idente EL-Bilder nach dem Temperaturtest, jedoch Schäden durch (mit dem freien Auge nicht sichtbare) Mikrorisse in den Zellen, die auch die Verschlechterung der Kennlinien in Abb. 61 und den entsprechenden Leistungsabfall (Tabelle 4, letzte Zeile) erklären.

DAS-Energy bietet semi-flexible Module mit unterschiedlichem Aufbau an und es wäre sinnvoll, weitere Untersuchungen zur optimalen Befestigungstechnik und zum Modulaufbau in Abstimmung mit dem Hersteller durchzuführen.

Trotz der sehr starken Verformung der hochflexiblen MiaSole-Module beim mechanischen Belastungstest ist hier keinerlei Änderung auf den EL-Bildern zu sehen und die Kennlinie und Leistung bleibt wie bei den steifen SolarWatt-Modulen auch danach unverändert.

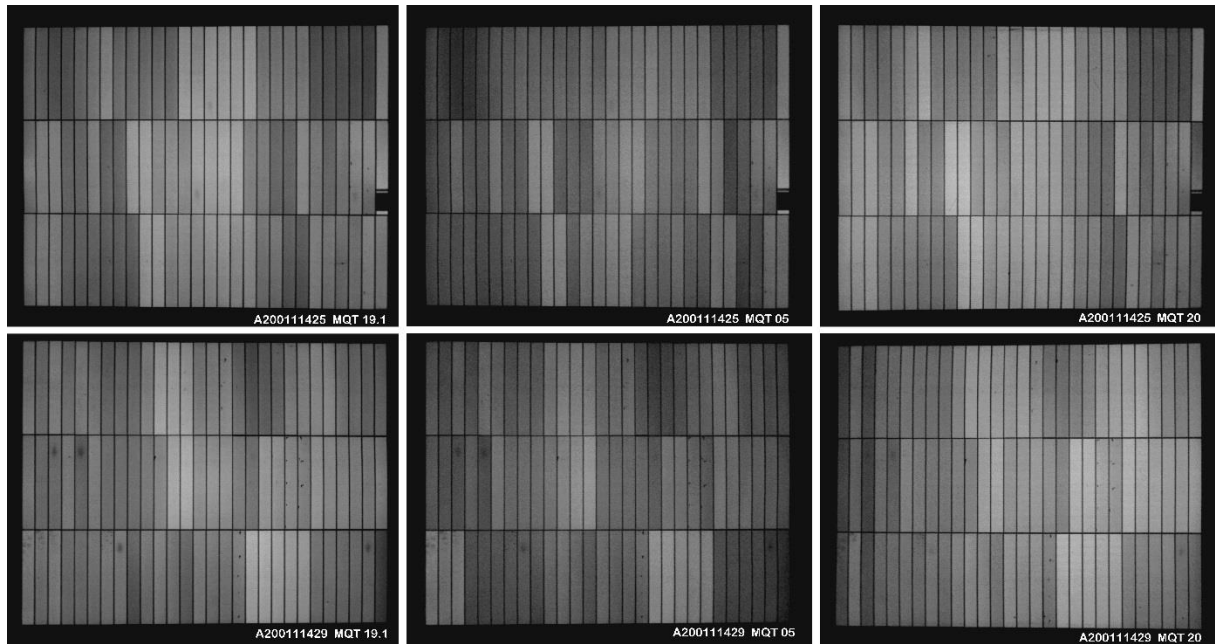


Abb. 64: EL-Aufnahme MiaSole: Links: initial; Mitte: nach Temperaturtest; Rechts: nach mechanischer Belastung. (eigene Darstellung)

AP 6: Stärken und Schwächen Analyse, Bewertung, Potenzialabschätzung

Neben den eigenen Analysen waren die Rückmeldungen der teilnehmenden Fachexperten für die Stärken- und Schwächen-Analyse und Potenzialabschätzung besonders wichtig. Entscheidend für das Anwendungspotenzial sind neben dem Systempreis, das Brandverhalten des Gesamtsystems und die erreichbaren baubehördlichen Zulassungen. Dazu wird es notwendig sein, für die potenzielle Anwendung an größeren Gebäuden Realbrandversuche an einer Prüfanstalt durchzuführen.

Durch die in diesem Sondierungsprojekt durchgeführten ersten Entwicklungsschritte eines „minimalinvasiven“, verdeckt liegenden, reversiblen Befestigungssystems für PV-Fassadensysteme aus leichten Kunststoff-Modulen und Glas/Glas-Modulen für Neu- und Altbauten wurden

- die überzeugende architektonische Qualität der Montage mit verdeckt liegender Befestigung von PV-Anlagen demonstriert und
- Wege für ein funktionelles Montagesystem aufgezeigt,
- die Möglichkeiten, aber auch noch ungelösten Probleme der Klettverbindung für ein reversibles Montagesystem für PV-Module analysiert,
- die Möglichkeiten, aber auch noch ungelösten Probleme leichter Kunststoff-PV-Module analysiert,
- die thermisch-bauphysikalische Unbedenklichkeit des Systems und
- keine thermische Beeinträchtigung des PV-Wirkungsgrades vor eines WDVS-Wand festgestellt.

Nicht ermittelt werden konnte die Körperschalleinleitung durch sturmbedingte Vibrationen in das Mauerwerk.

Zu verbessern ist in weiteren Entwicklungsschritten

- die mechanische Festigkeit der Justierhaken (stärkere, aber thermisch entkoppelte Schrauben, geringerer „Hebelarm“ der Einhängung)
- die Ausführung der Klettverbindungen aus nicht brennbaren Materialien als zusätzliche Variante und
- für die Montage vor WDVS-Fassaden mit organischen Dämmstoffe sind eine Reihe von Brandversuchen notwendig, um das Brandverhalten beurteilen zu können.

Der Bedarf an gebäudenaher PV ist in Einzelgebäuden und im Quartiersbereich für alle Plus-Energiekonzepte vorhanden. Die Potenzialflächen auf Dächern wurden bereits erhoben und die Technologien und Daten sind verfügbar. Besonnte Fassadenflächen sind eine wertvolle Potenzial-Ergänzung, um zusätzliche Gebäudeoberflächen nutzen zu können und sie tragen dazu dabei, die PV-Ertragskurve im Tageslauf zu verstetigen. Bei jahreszeitlicher Betrachtung ist der gute PV-Ertrag im Winter besonders wertvoll. Dazu gibt es noch keine Systemtechnologien und Potenzialdaten.

Dieses Projekt zeigt nun einen Weg zu einer flexibel einsetzbaren Systemtechnologie auf, der diese Lücke schließen kann. Damit eröffnet sich ein relevantes Potenzial für den PV-Stromertrag, in Konzepten der kurzen Wege, und ein marktrelevantes Potenzial für die Systemanwendung durch Errichter und Bauherren.

Daher strebt das Projektteam ein Nachfolgeforschungsprojekt zur Weiterentwicklung durch weiterführende Tests und Demonstrationsanwendungen an.

3. Ergebnisse

- Projektergebnisse, Darstellung von Innovationen und Weiterentwicklungen und Highlights aus dem Projekt.

Die Ergebnisse des einjährigen Sondierungsprojekts PV-FAS_light+easy („minimal-invasives“, verdeckt liegendes, reversibles Befestigungssystem für PV-Fassadensysteme aus leichten Kunststoff-Modulen und Glas/Glas-Modulen für Neu- und Altbauten) sind zahlreich und eine sehr gute Basis für weiterführende Entwicklungen.

- Projektergebnisse, Innovationen und Weiterentwicklungen

Die Zielsetzung, das Befestigungssystem für PV-Module an Fassaden völlig verdeckt liegend zu konzipieren, ist sinnvoll, da die gezeigte architektonische Wirkung, besonders bei transparenten Glas-Modulen, überzeugend ist. PV an Fassaden ist keine reine technische Anlage, sondern muss Teil der architektonischen Gestaltung eines Gebäudes, eines Stadtquartiers sein. Auch die genannten Referenzprojekte zeigen das auf.

Der aus dem System Sto-SustainR übernommene Dübel mit reversibler Klettverschluss-Verbindung erwies sich in diesem Projekt als eine sehr feste und stabile Verbindung. Wie sich zeigte, ist er als alleinige Befestigung aber nicht geeignet, da er keine Möglichkeit zum Einrichten und Feinjustieren des PV-Moduls bietet. Das macht es unmöglich, ein einheitliches Fugenbild zu bekommen. Daher wurden zusätzlich erste Schritte für ein justierbares Einhängesystem gesetzt. Derzeit ist die Festigkeit dieser Neuentwicklung noch nicht ausreichend gegeben. In Kombination dieser beiden Systeme könnten die PV-Module aber gut befestigt werden.

Für die Montage an der am häufigsten vorhandenen Gebäudefassade, Massivwände mit WDVS (Wärmedämmverbundsystem), wurde neben der Befestigungstechnik auch die Bauphysik und der Brandschutz untersucht. Aus bauphysikalischer Sicht zeigten sich keinerlei Probleme. Die punktförmigen Wärmebrücken sind gering, berechenbar und durch thermisch entkoppelte Schrauben weiter minimierbar. Der mögliche Eintrag von Körperschall in das Massivmauerwerk konnte noch nicht untersucht werden.

Sehr intensiv wurde die Brandschutzsituation bearbeitet. Alle PV-Module bestehen zu wesentlichen Teilen aus brennbaren Kunststoffen. Auch in den Glas-/Glas-Module ist in der mittleren Lage Kunststoff verbaut und der Klettübelteller, das Klettmaterial und die Kleber sind brennbar. Da es derzeit keine Untersuchungen zum Brandverhalten gibt, können aus den Bauvorschriften heraus nur Analogieschlüsse zu hinterlüfteten, brennbaren Holzfassaden gezogen werden. Wesentlich ist es, geschoßweise eine Abschottung des Hinterlüftungsspalts vorzunehmen. Für die Gebäudeklasse 1 – 3 wäre ein Nachweis des Brandverhaltens der Fassade/Fassadenkomponenten mit den Anforderungen nach EN 13501-1 zu erbringen. Für die Gebäudeklasse 4 – 5 wären zusätzlich noch positive Nachweise nach/in Anlehnung an ÖNORM B 3800-5 bzw. ÖNORM B 3800-6 (in Abhängigkeit des Fassadentyps) zu erbringen.

Daher wird empfohlen, in einem nächsten Schritt Brandversuche durchzuführen, um diese Nachweise des Brandverhaltens der Fassade und der Fassadenkomponenten (PV-Anlage) erarbeiten zu können.

Bei der Wechselwirkung zwischen gedämmter Außenwand und davor montierter PV-Module zeigten die Tests in den besonnten PV-Modulen im Vergleich zu einem frei montierten Referenz-Modul einen durchschnittlichen Temperaturanstieg von 4,3 K. In dieser Größenordnung werden keine relevanten Auswirkungen erwartet, was bedeutet, dass PV-Anlagen mit Hinterlüftung aus elektrotechnischer Sicht problemlos vor WDVS-Fassaden positioniert werden können.

- Highlights aus dem Projekt

Das erste „Highlight“ des Projekts ist die Ausweitung des Projektumfangs um 50% und erste Untersuchungen auch zur Anwendung der neuen Befestigungstechnik für Glas-/Glasmodule.

Das wichtigste „Highlight“ des Sondierungsprojektjahres ist die sehr positive Aufnahme der Probe-flächen und Projektergebnisse mit der neuen Befestigungsmethode von PV-Modulen auf WDVS-Fassaden durch Fachexperten bei der Projekt-Präsentation am 12. 9. 2018.



Abb. 65: Inhaltliche Projektpräsentation PV-FAS_light+easy (eigene Darstellung)

Architekten, Behörden-Vertreter, Fachplaner und ausführende Firmen, die an der Veranstaltung teilgenommen haben, sehen in dem Konzept und der Technik ein sehr interessantes Potenzial, wünschen sich aber auch noch eine weitere wissenschaftliche Bearbeitung und bautechnische und baurechtliche System-Zulassungen (Brandschutz).



Abb. 66: Besichtigung der Testwände am TU Wien Gelände Aspanggründe (eigene Darstellung)

- **Die Einpassung in das Programm „Stadt der Zukunft“ und der Beitrag des Projekts zu den Gesamtzielen des Programms**

Das FTI-Programm "Stadt der Zukunft" verfolgt auf der Suche nach intelligenten Energielösungen für Gebäude und Städte drei Ziele (<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/ziele-inhalte/>):

- Resiliente Städte und Stadtteile mit hoher Ressourcen- und Energieeffizienz, verstärkter Nutzung erneuerbarer Energieträger sowie hoher Lebensqualität
- Optimierung und Anpassung der städtischen Infrastruktur und Erweiterung des städtischen Dienstleistungsangebots vor dem Hintergrund fortschreitender Urbanisierung und erforderlicher Ressourcen- und Energieeffizienz
- Aufbau und Absicherung der Technologieführerschaft bzw. Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit österreichischer Unternehmen und Forschungsinstitute

Fassaden-PV kann und wird ein wichtiger Bestandteil von Plus-Energie-Konzepten für einzelne Gebäude, für Nachbarschaften oder Stadtquartiere sein.

Das Sondierungsprojekt für PV-Fassadensysteme aus leichten Kunststoff-Modulen mit reversiblen Befestigungen für Neu- und Altbauten mit seiner Erweiterung um Glas-/Glas-Module und seiner Fokussierung auf die häufigsten Gebäudefassaden, die WDVS-Fassaden, passt in alle Programmpunkte bei der Suche nach intelligenten Energielösungen für Gebäude und Städte.

- Mit der Zielsetzung, verstärkter Nutzung erneuerbarer Energieträger durch bauwerksintegrierte PV (BIPV) unterstützt das Projekt direkt das Ziel resilienterer Städte und Stadtteile mit hoher Ressourcen- und Energieeffizienz.

- BIPV, die direkt in Gebäudeenergiekonzepte integriert werden kann, ermöglicht kurze Wege des gewonnenen Stroms und die Optimierung und Anpassung der städtischen Infrastruktur für eine Low-Carbon-Society. Die Entwicklung, der Bau und der Betrieb dieser Anlagen kann und soll Teil und Erweiterung des städtischen Infrastruktur-Dienstleistungsangebots werden.
- Die häufigsten gedämmten Gebäudefassaden Mitteleuropas sind WDVS-Fassaden. Wenn eine österreichische Universität durch die Zusammenführung von aktuellen Produktinnovationen eine multiplizierbare Systemlösung anbieten kann, stärkt das den Aufbau und die Absicherung der Technologieführerschaft und Wettbewerbsfähigkeit österreichischer Unternehmen und Forschungsinstitute. Dazu war diese Sondierung ein erster Schritt, der in einem Nachfolgeprojekt abgeschlossen werden kann.

4. Schlussfolgerungen

Die in dem Projekt gewonnenen Erkenntnisse für das Projektteam (fachliche Einschätzung)

Dieses Sondierungsprojekt hat dazu beigetragen, dem Ziel eines einfachen, kostengünstigen, reversiblen Befestigungssystems für PV-Fassadensysteme mit Kunststoff-Modulen und Glas-/Glas-Modulen für Neu- und Altbauten einen wichtigen Schritt näher zu kommen. Es wurden sehr praxisnah die Möglichkeiten und auch die noch offenen Fragen, die in einem weiterführenden Projekt bearbeitet und gelöst werden sollten, aufgezeigt.

Geplante Weiterarbeit des Projektteams mit den erarbeiteten Ergebnissen

Das Projektteam wird das Team erweitern und ein Nachfolgeprojekt entwickeln, dass die noch offenen Entwicklungen und Tests (auch bezüglich Brandverhalten) bearbeiten soll, umso so rasch als möglich eine praxistaugliche Nutzungsanwendung zu ermöglichen.

Für welche relevant Zielgruppen sind die Projektergebnisse interessant und wer kann damit wie weiterarbeiten?

PV-Anlagen an Gebäudefassaden können und werden ein wichtiger Bestandteil von Plus-Energie-Konzepten für Gebäude und Quartiere sein. Für deren Realisierung ist ein Zusammenspiel von Bauherren, Gebäudebetreibern, Architekten, Behörden-Vertreter, Fachplaner und ausführenden Firmen notwendig, die auch die Zielgruppe unserer Projektergebnisse darstellen. Für diese sind die Ergebnisse dieses Projektes interessant, leider kann man sie derzeit noch nicht anwenden. Alle werden aber sehr offen zur Mitwirkung eingeladen.

Die bisherigen Verwertungs- und Verbreitungsaktivitäten und das weitere Markt- und Verbreitungs-Potenzial

Ein Sondierungsprojekt kann noch keine direkt verwertbaren bzw. vermarktbareren Ergebnisse liefern. Es werden aber die Ergebnisse und weiteren geplanten Entwicklungsschritte mit der Zielgruppe kommuniziert. Die Notwendigkeit geeignete Flächen für PV-Anlagen zu finden ist groß und dementsprechend ist auch das Markt- und Verbreitungs-Potenzial national und international groß.

5. Ausblick und Empfehlungen

Empfehlungen für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten

Für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sind Arbeiten zur

- Weiterentwicklung der Befestigungstechnik, der Klebetechnik und der Absturzsicherung sowie
- Tests zum Brandverhalten der Fassade und Fassadenkomponenten vorrangig.

Potenzial für Demonstrationsvorhaben (Chancen/Herausforderungen/Risiken bei der Realisierung/Umsetzung in Richtung Demonstrationsprojekt)

Auch bei einem weiterführenden Projekt, das auf dieser Sondierung aufbaut und die hier offenen Fragen klären kann, wird es für ein reales Bauprojekt als Demonstrationsprojekt noch zu früh sein. Dazu wären behördliche Zulassungen und Garantien der ausführenden Firmen notwendig, die es derzeit noch nicht gibt.

Sehr wohl sind aber Testanwendungen an Testfassaden sinnvoll, notwendig und auch geplanter Bestandteil des in Ausarbeitung befindlichen Nachfolgeprojekts.

6. Verzeichnisse

6.1. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Plus-Energie-Bürohochhaus der TU Wien [1]	8
Abb. 2: Möglichkeiten der PV-Gebäudeintegration. [2].....	9
Abb. 3: Wirkungsgrad Fassade zu Dach im Sommer und im Winter. [3]	10
Abb. 4: Abhängigkeit des relativen Jahresertrags (kWh/kWpa) von Neigung und Richtung. [4]	10
Abb. 5: Stromverbrauch/Lastprofil eines 4-Personen-Haushalts und Ertragskurve einer PV-Anlage mit 6 kWp Leistung + Überlagerung mit SO und SW orientierter PV. Quelle: [5]; Bearbeitung Ernst Heiduk	11
Abb. 6: Links: Relativer Leistungsverlauf der PV-Fassade auf der SO-, SW- und NW-Seite des ZSW-Gebäudes in Stuttgart sowie die Summenleistung, gemessen im August 2017.[6]; Rechts: Darstellung eines Fassadenabschnittes; [6].....	11
Abb. 7: PV- Eigenverbrauch – ohne und mit Warmwasser-Wärmepumpe. [7]	12
Abb. 8: PV-Testfassade PV@Fassade [9].....	15
Abb. 9: PV-Testfassade Construct PV. [10].....	17
Abb. 10: PV-Testfassade Construct PV. [11].....	18
Abb. 11: Züblin Demonstrationsgebäude (Stuttgart). [12]	18
Abb. 12: Stufenfalzklebung der PV-Elemente. [10].....	19
Abb. 13: Züblin Demonstrationsgebäude (Stuttgart). [12]	19
Abb. 14: Straßenansicht des Wohnhauses Solaris (Zürich) [12]	20
Abb. 15: Dachaufsicht des Wohnhauses Solaris (Zürich) [13].....	21
Abb. 16: PV-Stromerträge aller Teilflächen WH Solaris [14].....	21
Abb. 17: Beschreibung des PV-Konzepts WH Solaris [14].....	21
Abb. 18: Links: Konstruktionsschnitt der PV-Paneele WH Solaris. Rechts: Darstellung der Befestigung der PV-Paneele WH Solaris. [15]	22
Abb. 19: Links: Dachansicht der PV-Paneele WH Solaris. Rechts: Befestigung der PV-Paneele WH Solaris. [13].....	23
Abb. 20: Ansichten Autarkes Mehrfamilienhaus in Brütten [16]	25
Abb. 21: Montage der PV-Paneele am autarken MFH Brütten [17]	25
Abb. 22: Funktionsprinzip der Energieversorgung. Autarkes Mehrfamilienhaus in Brütten [3] und Zeichnung [18].....	26
Abb. 23: PV an der „Feuermauer“ des Boutiquehotels-Stadthalle in Wien [19]	27
Abb. 24: Aufgeständerte PV am Dach und vorgesetzt an der Außenwand Boutiquehotels-Stadthalle [19]	28
Abb. 25: Das recycelbare und ausgezeichnete Fassadendämmsystem StoSystain R [20], [21].....	29
Abb. 26: Das DAS-Energy-Modul [22].....	31
Abb. 27: Das MiaSole PV-Dünnschichtmodul [23]	31
Abb. 28: Der Sto-Klettverschluss-Dübel (StoSystain®R) [24].....	32

Abb. 29: Links: Beginn der Fundamentarbeiten. Rechts: Beplankung mit Rigips Habito GK-Platten (eigene Darstellung)	33
Abb. 30: Links: Doppellagige Beplankung und Verspachtelung Rechts: Beschichtung mit Feuchtigkeitsschutzschicht (eigene Darstellung)	33
Abb. 31: Links: Die erste Dämmstoffplatte Rechts: Montage des Dämmstoffs 8 und 24 cm stark (eigene Darstellung)	34
Abb. 32: Links: Armierungsbeschichtung Rechts: Beschichtung mit weißem, mitteldickem Putz (eigene Darstellung)	34
Abb. 33: Links: Die fertigen leeren Testwände (eigene Darstellung) Rechts: Lageplan und Stromkabel © ViennaGIS	34
Abb. 34: Montage der PV-Paneele auf den Mock-Up-Testflächen (eigene Darstellung).....	35
Abb. 35: Das Fassadensystem „StoSystain® R [21].....	35
Abb. 36: Der Klettdübel mit Edelstahl-Gewindestange (eigene Darstellung).....	36
Abb. 37: Klettdübel und Gewindeschraube montiert, Flauschgewebe mit Kleber und aufgeklebt (eigene Darstellung)	36
Abb. 38: Justierbarer Befestigungshaken und aufkleben des gekanteten Blechwinkels (eigene Darstellung)	37
Abb. 39: Links: Fertig montierte Befestigungspunkte Rechts: Eingehängte und fixierte PV-Paneele (eigene Darstellung)	37
Abb. 40: Links: Der tragende Einhänge-Haken; Mitte: Der Klettdübel mit der Flauschfläche; Rechts: Ausschnitt der vor der Fassade „schwebenden“ SolarWatt-PV-Module (eigene Darstellung)	38
Abb. 41: Links: Montagehaken und Flauschmaterial; Mitte: aufgeklebter Montagehaken; Rechts: aufgeklebte Flauschfläche (eigene Darstellung)	38
Abb. 42: Die montierten Befestigungselemente (links) und die montierten DAS-Energy-Module (rechts) (eigene Darstellung).....	39
Abb. 43: Links: Montagehaken und Flauschmaterial; Mitte: aufgeklebter Montagehaken; Rechts: aufgeklebte Flauschfläche (eigene Darstellung)	39
Abb. 44: Die montierten Befestigungselemente und die Montage der MiaSole-Module. (eigene Darstellung)	40
Abb. 45: Ausschnitt eines MiaSole-PV-Modul. (eigene Darstellung)	40
Abb. 46: Mit Fingern zusammengesobener, anhaftender Staub auf MiaSole. (eigene Darstellung) 40	
Abb. 47: Wetterkarte zum Herbststurm 2018 [25].....	41
Abb. 48: IT-Fix Schwerlastanker mit thermischer Trennung und Distanzstück. [26]	41
Abb. 49: Möglichkeit einer Brandsperre bei hinterlüfteter Fassade. [28]	44
Abb. 50: Links: Aufkleben von Dämmstoff auf Tragplatten Rechts: Komplette Lage mit 4 cm Dämmstoff (eigene Darstellung)	47
Abb. 51: Links: Beschichtung mit Armierungsschicht Rechts: Beschichtung mit Deckputzschicht (eigene Darstellung)	47
Abb. 52: Links: Markieren der Schraubenpositionen Rechts: Versetzen der Tragschrauben (eigene Darstellung)	47

Abb. 53: Links: Montieren der Einhängehaken und Kletteller Rechts: Probemontage der PV-Module (eigene Darstellung)	48
Abb. 54: Links: Transport der Testflächen Rechts: Einheben der Testflächen in den Prüfstand (eigene Darstellung)	48
Abb. 55: Links: Montage der PV-Module Rechts: Prüfung im stationären Sonnensimulator (eigene Darstellung)	48
Abb. 56: I-U (Strom-Spannungs-) Kennlinien (blau) eines SolarWatt 36M Moduls nach Messung im gepulsten Solarsimulator bei 1000 W/m ² (STC) und niedrigerer Einstrahlung von 800 W/m ² ... 100 W/m ² . Rot: Leistungsverlauf bei STC – Punkt maximaler Leistung: P = 160.6 W bei 18.74 V und 8.57 A.....	49
Abb. 57 Links: Das SolarWatt-Modul beim Drucktest Rechts: Knapp vor dem Auseinanderrutschen beim Sogtest (eigene Darstellung)	50
Abb. 58: Links: DAS-Energy-Modul mit Verformung durch Eigengewicht Rechts: und maximaler Druckbelastung (eigene Darstellung)	50
Abb. 59: Links: DAS-Energy-Modul Verformung durch Sogbelastung Rechts: das linke Modul ist bereits losgerissen (eigene Darstellung)	51
Abb.60: Links: Die MiaSole-Modul Verformung bei Sogbelastung Rechts: Links hinten ist ein Modul bereits losgerissen. (eigene Darstellung)	51
Abb. 61: Links: DAS 8x6p u. 12x6p I-U Kennlinien bei STC Rechts: MiaSole 28C u. 42C I-U Kennlinien bei STC.....	52
Abb. 62: EL-Aufnahme SolarWatt: Links: initial; Mitte: nach Temperaturtest; Rechts: nach mechanischer Belastung. (eigene Darstellung)	53
Abb. 63: EL-Aufnahme DAS: Links: initial; Mitte: nach Temperaturtest; Rechts: nach mechanischer Belastung. (eigene Darstellung)	53
Abb. 64: EL-Aufnahme MiaSole: Links: initial; Mitte: nach Temperaturtest; Rechts: nach mechanischer Belastung. (eigene Darstellung)	54
Abb. 65: Inhaltliche Projektpräsentation PV-FAS_light+easy (eigene Darstellung).....	57
Abb. 66: Besichtigung der Testwände am TU Wien Gelände Aspanggründe (eigene Darstellung).....	58

6.2. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anforderungen an die Fassaden nach der OIB Richtlinie 2 (Auszug aus der Tabelle 1a) [27]	43
Tabelle 2: Gebäudetypus und notwendige formale Nachweise nach EN 13501-1 und ÖNORM B 3800	45
Tabelle 3: Übersicht: Technische Daten der verwendeten PV-Module.....	46
Tabelle 4: Übersicht Erwärmungstest bei MPP und mechan. Belastungstest; Nachttests: Leistung bei STC.....	52

6.3. Literaturverzeichnis

- [1] Staatspreis für Plus-Energie-Bürohochhaus der TU Wien, Verfügbar unter: <https://www.tuwien.at/tu-wien/aktuelles/news/news/staatspreis-fuer-plus-energie-buerohochhaus-der-tu-wien/> [Zugegriffen: 29-Nov-2019].
- [2] GEBÄUDEINTEGRIERTE PV (GIPV), Verfügbar unter: <http://www.solarfassade.info/de/grundlagen/gipv/index.php> [Zugegriffen: 29-Nov-2019].
- [3] Braun Dorothee und Langenskiöld Eric: Das erste energieautarke Mehrfamilienhaus der Welt, *Umwelt Perspekt.*, 2016.
- [4] Neigung und Ausrichtung, Verfügbar unter: <http://www.pv-ertrag.com/neigung-und-ausrichtung/> [Zugegriffen: 29-Nov-2019].
- [5] Wohnen mit Energie, Verfügbar unter: <http://www.wohnen-mit-energie.de/photovoltaik/optimierung-eigenverbrauch/> [Zugegriffen: 29-Nov-2019].
- [6] Photovoltaik, Verfügbar unter: <https://www.zsw-bw.de/forschung/photovoltaik/projekte.html> [Zugegriffen: 28-Nov-2019].
- [7] Photovoltaik im System mit einer WarmwasserWärmepumpe, Verfügbar unter: https://www.sen.eu/de/Junkers_Waermepumpen [Zugegriffen: 29-Nov-2019].
- [8] Hall Monika und Geissler Achim: Möglichkeiten und Grenzen von großen Nullenergiegebäuden, Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1002/bapi.201610003> [Zugegriffen: 28-Nov-2019].
- [9] Eder Gabriele: PV@Fassade, Verfügbar unter: <https://www.energy-innovation-austria.at/article/pvfassade/> [Zugegriffen: 29-Nov-2019].
- [10] Geklebte Photovoltaik-Fassade (BiPV) beim Züblin-Bürogebäude Z3 in Stuttgart, Verfügbar unter: <https://www.baulinks.de/webplugin/2018/1350.php4> [Zugegriffen: 29-Nov-2019].
- [11] Construct PV, Verfügbar unter: <http://www.constructpv.eu/roadtrip-of-the-facade-mockup/> [Zugegriffen: 29-Nov-2019].
- [12] Construct PV - Case studies, Verfügbar unter: <http://www.constructpv.eu/case-studies/> [Zugegriffen: 29-Nov-2019].
- [13] Solare Architektur: Wohnhaus Solaris, Verfügbar unter: <https://scherrer.biz/solare-architektur-wohnhaus-solaris> [Zugegriffen: 29-Nov-2019].
- [14] Schärer Caspar: Ein starkes Stück, *Solaris #01, Heftr. von Hochparterre für Solararchitektur*, 2018.
- [15] Solt Judit: Photovoltaik I - die Architektur, *TEC21*, Bd. Nr.46-47, 2017.
- [16] Schoof Jakob: Autarkie im Tarnkleid: Mehrfamilienhaus in Brütten, Verfügbar unter: <https://www.detail.de/artikel/autarkie-im-tarnkleid-mehrfamilienhaus-in-bruetten-30887/> [Zugegriffen: 29-Nov-2019].
- [17] Schweizer Baudokumentation, Verfügbar unter: <https://www.baunetz.ch/referenzen/mf-bruetten> [Zugegriffen: 29-Nov-2019].
- [18] Intelligente Speichertechnik, Verfügbar unter: <https://www.bba->

- online.de/fachthemen/energie/intelligente-speichertechnik/#slider-intro-3 [Zugegriffen: 29-Nov-2019].
- [19] Ökohotel in Wien/A, Verfügbar unter: <https://www.baunetzwissen.de/heizung/objekte/wohnen/oekohotel-in-wien-a-1151423> [Zugegriffen: 29-Nov-2019].
- [20] Recycling: Fassaden von morgen, Verfügbar unter: <https://www.bauforum.at/bauforum/recycling-fassaden-von-morgen-68545> [Zugegriffen: 29-Nov-2019].
- [21] StoSystain® R, Verfügbar unter: https://www.sto.de/de/service/news_detail_164736.html [Zugegriffen: 29-Nov-2019].
- [22] DAS Energy, Verfügbar unter: <https://www.das-energy.com/> [Zugegriffen: 22-Apr-2018].
- [23] MiaSolé, Verfügbar unter: <http://miasole.com/> [Zugegriffen: 22-Apr-2018].
- [24] Sto: StoSystain R : Kletten statt kleben ! Die Fassade der Zukunft, 2017.
- [25] Wetter - Wind, Verfügbar unter: <https://www.wetter.at/wetter/satellitenbilder/oesterreich/wind> [Zugegriffen: 01-Nov-2018].
- [26] Befestigungsdübel mit thermischer Trennung, Verfügbar unter: <https://www.etanco.de/produkte/alu-unterkonstruktion-fuer-fassade/fassade-mit-duebeltechnik/befestigungsanker-mit-thermischer-trennung/index.html> [Zugegriffen: 29-Nov-2019].
- [27] Österreichisches Institut für Bautechnik: OIB Richtlinie 2, 2019.
- [28] Österreichischer Fachverband für hinterlüftete Fassaden: Brandschutz bei hinterlüfteten Fassaden, 2018.

6.4. Weiterführende Literatur


- Amann Stefan und Hofer Gerhard: e7 Energie Markt Analyse GmbH u.a., Smart Services für ressourcenoptimierte urbane Energiesysteme von Stadtteilen, Ergebnisbericht zu den Smart Service Geschäftsmodellen in Salzburg, Graz und Wien, Verfügbar unter: https://www.e-sieben.at/de/download/SmartServices_geschaeftsmodelle.pdf [Zugegriffen: 2017-11-25; 14:10]
- Cody Brian und Sautter Sebastian: TU Graz, Smart façade - energetische Potentiale von adaptiven Fassadensystemen, BMvit, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 38/2017, Verfügbar unter: https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/berichte/schriftenreihe-2017-38-smartfacade.pdf [Zugegriffen: 2018-08-22; 11:20]
- Kesselring Stefan: SFHF, PV in der Fassade – Die Fassade als Kraftwerk, Innovationsgruppe Plusenergie-Gebäude, 06. April 2016, Burgdorf, Verfügbar unter: https://www.energie-cluster.ch/admin/data/files/file/file/1188/2.2.-stefan-kesselring_pv-in-der-fassade.pdf?lm=1461065560 [Zugegriffen: 2017-11-25; 11:30]

Renken Christian: Solarfassade und Eigenverbrauch, Pdf von Vortrag, Bau + Energie Messe, BERNEXPO, 28. November 2015, Verfügbar unter:
http://www.crenergie.ch/uploads/2/9/7/1/29719199/présentation_bau_energie_151126.pdf
[Zugegriffen: 2018-04-24, 14:25]

Schneider Astrid, AIT: State of the Art Building Integrated Photovoltaic (BIPV) – Internationaler Überblick, Pdf – Vortrag, Workshop im Rahmen des Projektes Shape-PV, 14. Juni 2016, Verfügbar unter: http://tppv.at/tppv/wp-content/uploads/2016/07/13_AIT-Astrid-WS-Shape-PV-14-06-2016.pdf [Zugegriffen: 2017-11-25; 10:30]

Steinke Gregor, Menn Claudio u.a.: FH-Nordwestschweiz, Transformation eines Kohlesilos zum Solarkraftwerk mit farbigen PV-Modulen und Secounf-Life Speicher, 19.status-Seminar „Forschen für den Bau im Kontext von Energie und Umwelt“, 8./9. September 2016 – ETH Zürich, Verfügbar unter: https://irf.fhnw.ch/bitstream/handle/11654/23353/OP-II-1-4_078_Steinke%20et%20al._Transformation%20Kohlesilo%20in%20Solarkraftwerk.pdf?sequence=1 [Zugegriffen: 2018-04-22; 16:30]

Sto Ges.m.b.H., Planungshilfen und Details StoVentec ARTline – Photovoltaik-Fassadensysteme, Verfügbar unter:
https://www.sto.at/media/documents/download_broschuere/kategorie_fassade/vhf/StoVentec_Artline_Planungshilfen_und_Details_150ppi.pdf [Zugegriffen: 2017-11-10; 13:45]



Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien
[bmvit.gv.at](https://www.bmvit.gv.at)