

Assessment of a photovoltaic thermal (PVT) prefabricated façade

MSc Angelina Katsifaraki, Dr.-Ing. Bruno Bueno, Dipl.-Phys. Tilmann E. Kuhn,
Dr.-Ing. Christoph Maurer

Fraunhofer ISE

Heidenhofstr. 2, D-79110 Freiburg

Tel.: +49 (0) 761 4588 5667, Fax: +49 (0) 761 4588 9950

E-Mail: christoph.maurer@ise.fraunhofer.de

Internet: www.ise.fraunhofer.de

1. Abstract

Within the European research project RETROKIT (<http://www.retrokitproject.eu>) and supported by a partner network all over Europe, a low-cost building-integrated photovoltaic thermal (BIPVT) component was developed. This component is part of a prefabricated façade that can be easily retrofitted on old residential buildings with little or no energy efficiency infrastructure. The innovation of this project lies in two basic aspects. First of all, it is customizable and can be installed and maintained easily, making the refurbishing process more simple and systematic. Additionally, due to the component's low cost it is accessible for residential owners who represent a high potential market.

This RETROKIT facade consists of different layers. The first layer, at the front surface of the module is the PV element of the collector and is constructed with the CIGS thin film PV technology. Behind the PV component, there are capillary tubes to remove the solar thermal energy. And at the back side of the module, an insulation layer is placed between the capillary tubes and the masonry.

The HVAC system used was empirically adjusted to the needs of a single family apartment and it consists of a 200 litre heat storage tank connected with the collector through a heat exchanger. The extracted heat from cooling the PV panels is used to preheat domestic hot water. The preheated water is then transferred to the apartment where it is further heated by a gas boiler.

This paper first presents a comparison of two different low-cost PVT designs. The design with the higher solar thermal efficiency is then used to simulate the installation of the PVT system in a pilot building in Madrid. The monthly energy gains and their usage are

assessed as well as the maximum temperatures during stagnation. The results analysed in this paper are based on TRNSYS simulations [3].

2. The façade configuration

While developing the PVT façade, various configurations were proposed and the most promising were simulated in TRNSYS and compared based on their estimated thermal gains, production cost and possible manufacturing advantages. The simulations were carried out using weather data for Frankfurt and considering a 40% glycol solution as the heat transfer fluid in the solar thermal collector.

The two most promising designs are shown in Figure 1. In both configurations, the module layers remain the same and at the same order, only the position of the capillary tubes changes. Both PVT collectors have a total thickness of 6 cm and consist of four layers. The outer is the photovoltaic (PV) component and consists of a thin layer of CIGS of 8% efficiency and it is connected with a carrier plate by a layer of silicone glue. In configuration 1, a row of polypropylene capillary tubes with a diameter of 4.5 mm, is embedded in the carrier plate made of plaster with glass granulate. In configuration 2, on the other hand, the capillary tubes are tightly embedded in the layer of silicone glue. Finally, the back layer for both the configurations consists of 45 mm of mineral wool that allows the module to integrate in the building façade. The first configuration offers low fabrication costs. On the other hand, the configuration 2 promises higher thermal gains due to the smaller thermal resistance between the absorbing PV and the fluid.

To evaluate the two configurations, a series of annual simulations were run, using weather data for Frankfurt. In both cases, the inlet and outlet fluid temperature for the collector were gradually increased and the annual sums of the thermal gains for the two configurations were compared. Based on this comparison the annual gains for the configuration 2 were calculated to be 30 % higher than the annual gains for the configuration 1.

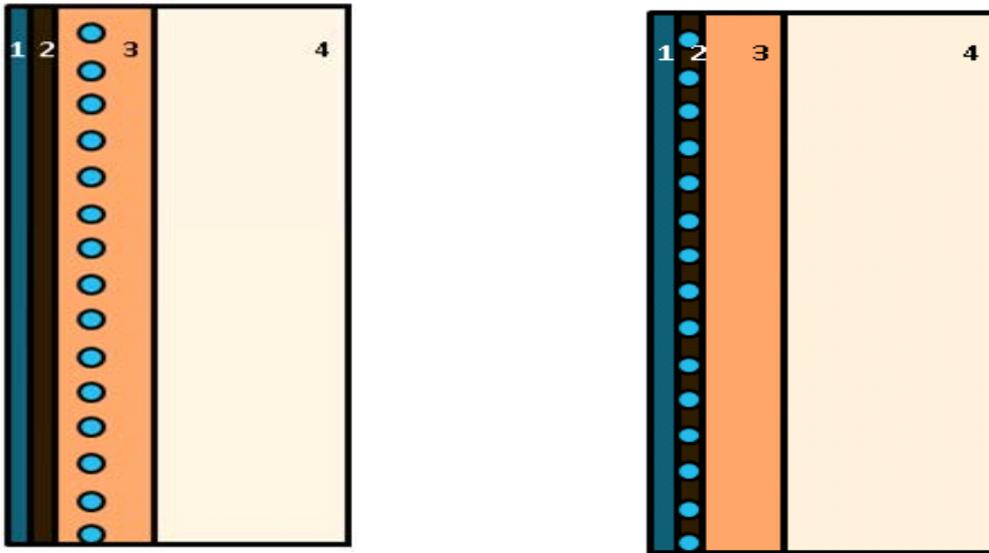


Figure 1: Left-hand side: Configuration 1 with (1) PV module, (2) silicone glue, (3) carrier plate with capillary tubes, (4) insulation layer. Right-hand side: Configuration 2 with (1) PV module, (2) capillary tubes in silicone, (3) carrier plate, (4) insulation layer.

3. The demonstration site

The first demonstration of the PVT prefabricated façade was decided to take place in Madrid, in the neighbourhood of Ciudad de los Ángeles. The demonstration site, located at Manojó de Rosas 15 St. and established as a residential building at the late 50's, was planned to be refurbished in 2013 and a BIPVT area of 11 m² is planned. The building was originally constructed with a 30 cm thick concrete wall without insulation. During the refurbishment, a layer of insulation is added to the entire building and the installed PVT component will then be in line with the rest of the exterior wall.

The building offered two possible orientations for the PVT installation, south and east. Following the same procedure as before, the demonstration façade was simulated using weather data for Madrid for the two possible orientations using every time gradually increasing inlet and outlet fluid temperatures for the collector. After comparing both the PV gains and thermal gains of the PVT collector, the south configuration was preferred with estimated thermal gains 35% higher than the east façade and 25% more electricity production. Additionally, the simulated temperatures for the surface of the PV components were compared in order to evaluate the possible risks of stagnation showing that the highest possible temperatures would appear for the east orientation rather than the south.



Figure 2: The demonstration building before refurbishment. The yellow frame at the top of the facade marks the area where the PVT component will be installed.

4. TRNSYS simulations

The PVT elements were simulated in TRNSYS using a custom collector type created by Dr Christoph Maurer as part of his PhD thesis [2]. Only one storey of the building was simulated with a “shoe-box” form with only one thermal zone. For investigating the different façade configurations, a virtual building was used along with weather data for Frankfurt. For the rest of the simulations, a building with the accurate demonstration building’s dimensions and envelope characteristics was used as well as weather data for Madrid.

The mass flow was controlled with the match flow control method included in the custom type, according to which the fluid’s outlet temperature was maintained constant by varying the mass flow at the collector between an upper and a lower limit. Below the lower limit the mass flow would be set to zero while above the upper limit the mass flow would be constant and equal to the upper limit. The target outlet temperature was set to 25 °C, 30 °C and 35°C and as expected, setting lower target outlet temperatures allow the system to work for more hours annually and produce higher overall gains. For the next simulations, a usage of the collectors as domestic water preheater was simulated, with the fluid inlet temperatures were supplied as a monthly average of the actual water network of Madrid.

After deciding on the final orientation of the PVT component, two different cases were investigated; the theoretical case of an infinite storage system, where all the thermal energy produced by the collector is used and the case of the collector connected through a heat exchanger with a 200 litre heat storage tank and a boiler. For the theoretical case, the

collector's fluid is considered to be water, directly heated and transferred from the collector to the apartment, whereas, in the case of a 200lt tank, the collector's fluid is considered to be a 40% water-glycol solution which is moving in a closed loop in the heat exchanger. Moreover, the tank imposes a limitation in the amount of water used and the usage schedule of the residents should be taken under consideration. For both the cases, the PV gains as well as the thermal gains were investigated in an annual and monthly basis.

5. System evaluation

The two cases explained above were simulated and compared to better understand and evaluate the PVT collector as well as the entire system. The theoretical case provides a chance to evaluate the PVT potential by calculating the estimated thermal gains. By simulating the more realistic case and by including a complete HVAC system it is possible to estimate the designed system efficiency in order to identify its weaknesses and improve it before the installation takes place. For the comparison of the two cases, the monthly thermal gains are presented in Figure 3.

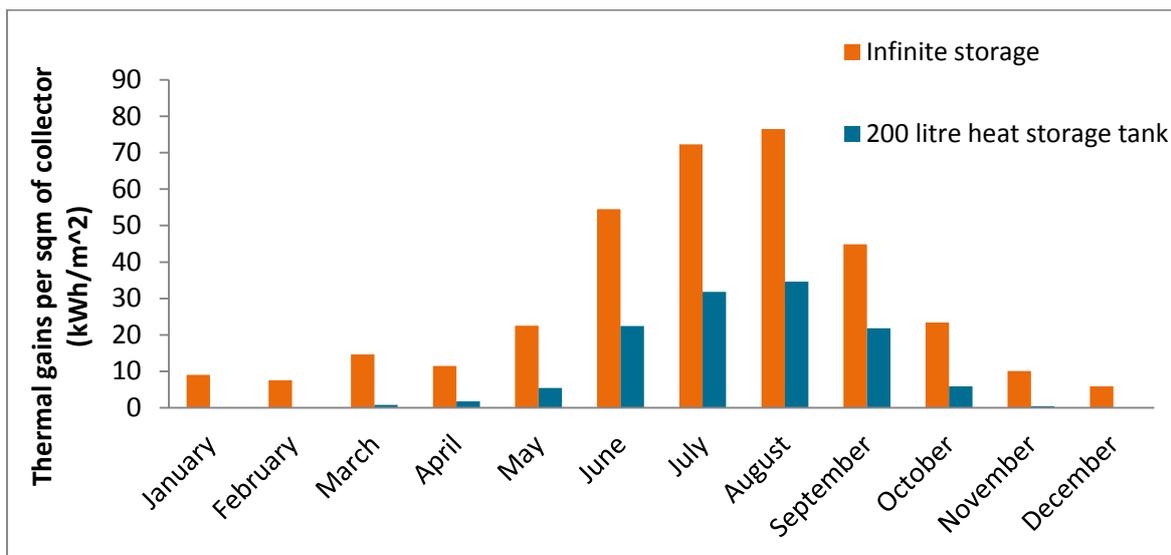


Figure 3: Monthly sum of the thermal gains per collector area for the two cases mentioned above.

The PV gains of the collector depended mainly on the PV installation area and most losses would be a result of high surface temperatures. However, for the two simulated cases the differences were negligible since a lot of the waste heat was extracted by the solar thermal collector therefore the PV temperature did not increase a lot. Therefore, Figure 4 presents the PV gains valid for both cases.

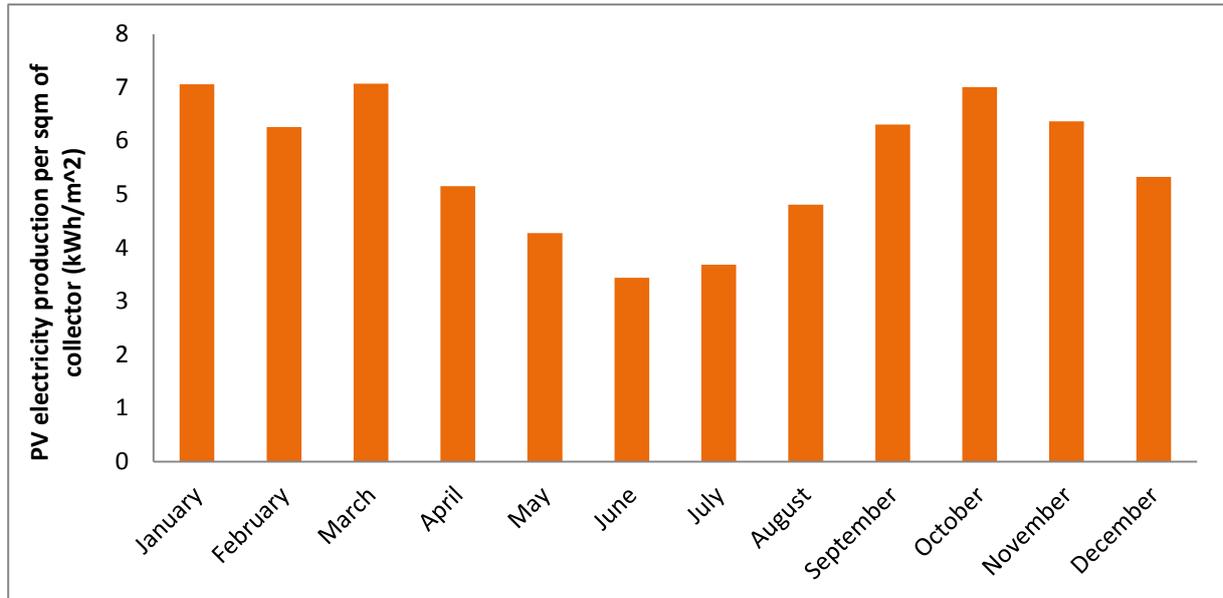


Figure 4: Monthly sum of the PV gains per collector area.

6. Acknowledgments

We thank Christian Schaller from Sto AG for the common development of the PVT configurations and KOKOTAS for designing the building services. We also thank EMVS and CREA for the informations about the demonstration building and the Community of Manojó de Rosas 15 for participating in this project.

7. Literature

- [1] A. Katsifaraki, Assessment of building integrated Photovoltaic/Solar Thermal components, Master thesis, University of Freiburg, 2013.
- [2] C. Maurer, Theoretical and experimental analysis and optimization of semi-transparent solar thermal façade collectors, PhD thesis (accepted), Department of Architecture, Karlsruhe Institute of Technology, 2012.
- [3] W.A. Beckman, L. Broman, A. Fiksel, S. A. Klein, E. Lindberg, M. Schuler, J. Thornton. TRNSYS-The most complete solar energy modeling and simulation software. Renewable Energy, Vol.5, Part I, pp.486-488. 1994.

Bewertung einer vorgefertigten photovoltaisch-thermischen (PVT) Fassade

MSc Angelina Katsifaraki, Dr.-Ing. Bruno Bueno, Dipl.-Phys. Tilmann E. Kuhn,
Dr.-Ing. Christoph Maurer
Fraunhofer ISE
Heidenhofstr. 2, D-79110 Freiburg
Tel.: +49 (0) 761 4588 5667, Fax: +49 (0) 761 4588 9950
E-Mail: christoph.maurer@ise.fraunhofer.de
Internet: www.ise.fraunhofer.de

1. Kurzfassung

Im Rahmen des europäischen Forschungsprojekts RETROKIT (<http://www.retrokitproject.eu>) wurde mit Unterstützung eines europaweiten Netzwerks ein preiswertes bauwerksintegriertes photovoltaisch-thermisches (BIPVT) Element entwickelt. Diese Komponente ist Teil einer vorgefertigten Fassade, die bei alten, schlecht gedämmten Wohngebäuden leicht nachgerüstet werden kann. Die Neuerungen der Komponente zeichnen sich durch zwei grundlegende Eigenschaften aus. Die Komponente kann auf Einzelfälle angepasst und leicht installiert und gewartet werden, wodurch der Renovierungsprozess einfacher und systematischer wird. Dazu kommt, dass durch die geringen Kosten auch die Eigentümer von Wohngebäuden angesprochen werden, woraus sich ein großes Marktpotential ergibt.

Die RETROKIT Fassade besteht aus verschiedenen Schichten. Die erste Schicht auf der Vorderseite des Moduls ist das PV-Element des Kollektors und wird mit der CIGS-Dünnschicht-PV Technologie gefertigt. Hinter der PV Komponente befinden sich Kapillarröhrchen um die solar-thermische Energie aufzunehmen. Auf der Rückseite des Moduls ist eine Dämmschicht zwischen den Kapillarröhren und dem Mauerwerk angebracht.

Die verwendete technische Gebäudeausrüstung wurde auf den Bedarf einer Einfamilienwohnung angepasst und besteht aus einem 200 Liter Tank, der über einen Wärmetauscher mit dem Kollektor verbunden ist. Die extrahierte Wärme aus der Kühlung der PV-Paneele wird für die Vorwärmung von Brauchwasser verwendet. Dieses wird dann in die Wohnung geleitet und dort mit einem Gasboiler weiter erhitzt.

Diese Veröffentlichung zeigt zunächst einen Vergleich zwischen zwei verschiedenen preiswerten BIPVT-Konzepten. Die Ausführung mit der höheren solarthermischen Effizienz wird dann verwendet, um eine Installation des PVT Systems in einem Pilot-Gebäude in Madrid zu simulieren. Die monatlichen Energiegewinne und deren Nutzung werden ebenso untersucht wie die maximalen Temperaturen im Stagnationsfall. Die hier analysierten Ergebnisse basieren auf Simulationen mit der Simulationsumgebung TRNSYS [3].

2. Aufbau der Fassade

Während der Entwicklung der PVT-Fassade wurden verschiedene Konfigurationen vorgeschlagen. Die vielversprechendsten wurden in TRNSYS simuliert und anhand der thermischen Gewinne, Produktionskosten und möglichen Vorteilen bei der Fertigung verglichen. Bei den Simulationen wurden Wetterdaten von Frankfurt verwendet und es wurde von einer wässrigen Lösung mit 40% Glykol als Wärmeträgermedium im solarthermischen Kollektor ausgegangen.

Die beiden vielversprechendsten Konzepte sind in Abbildung 1 gezeigt. Bei beiden Konfigurationen bleiben die Schichten des Moduls und deren Reihenfolge gleich. Sie unterscheiden sich nur in der Position der Kapillarröhrchen. Beide PVT-Kollektoren haben eine Gesamtdicke von 6 cm und bestehen aus 4 Lagen. Die äußerste ist die photovoltaische (PV) Komponente und besteht aus einer dünnen Schicht CIGS mit einer Effizienz von 8%, welche durch eine Schicht Silikon-Kleber an der Trägerplatte befestigt ist. In der ersten Konfiguration ist eine Reihe von Propylen-Kapillarröhrchen mit einem Durchmesser von 4,5 mm in die Trägerplatte aus Putz mit Glasgranulat eingebettet. Bei Konfiguration zwei sind sie dagegen in die Silikon-Kleber Schicht eingebaut. Die letzte Schicht besteht schließlich für beide Konfigurationen aus 45 mm Mineralwolle, welche die Integration des Moduls in die Fassade ermöglicht. Die erste Konfiguration zeichnet sich durch geringe Fabrikationskosten aus, wogegen die zweite Variante aufgrund des geringeren thermischen Widerstands zwischen PV und Fluid höhere thermische Gewinne verspricht.

Um die beiden Konfigurationen zu beurteilen, wurde eine Reihe von jährlichen Simulationen mit den Wetterdaten von Frankfurt durchgeführt. In beiden Fällen wurden die Fluideingangs- und Fluidausgangstemperaturen schrittweise erhöht und die jährlichen thermischen Gewinne der beiden Konfigurationen wurde verglichen. Auf diesem Vergleich aufbauend wurde berechnet, dass die jährlichen Gewinne für die zweite Konfiguration 30% höher sind als die der ersten.

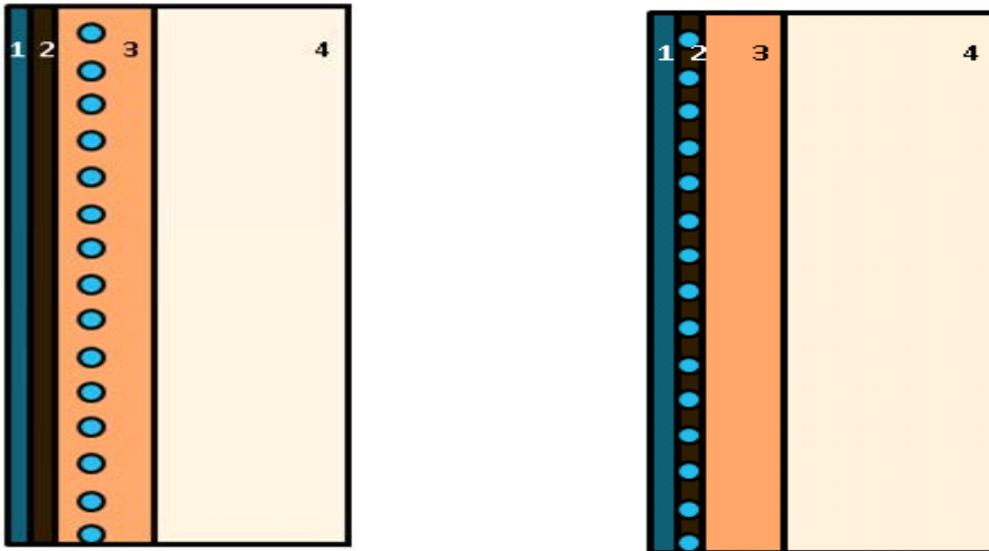


Abbildung 1: Links: Konfiguration 1 mit (1) PV Modul, (2) Silikon-Kleber, (3) Trägerplatte mit Kapillarröhrchen, (4) Isolationsschicht. Rechts: Konfiguration 2 mit (1) PV Modul, (2) Kapillarröhrchen im Silikon-Kleber, (3) Trägerplatte, (4) Isolationsschicht.

3. Das Demonstrationsgebäude

Als Standort für die erste Demonstration der vorgefertigten PVT Fassade wurde die Wohngegend Ciudad de los Ángeles in Madrid gewählt. Das Demonstrationsgebäude wurde Ende der 50er Jahre als Wohngebäude errichtet und liegt in Manojos de Rosas 15 St. Es sollte 2013 renoviert werden. Es sind 11 m² BIPVT-Kollektoren geplant. Ursprünglich wurde das Gebäude mit einer 30 cm dicken Wand aus Beton ohne Isolierung gebaut. Während der Renovierung wird eine Isolierung auf dem gesamten Gebäude installiert, sodass die PVT Komponente außen bündig mit der sie umgebenden Außenwand abschließt.

Das Gebäude weist zwei mögliche Orientierungen für die PVT Installation auf: eine Süd und eine Ostfassade. Mit dem selben Verfahren wie oben wurde die Demofassade mit Wetterdaten von Madrid für die unterschiedlichen Ausrichtungen simuliert, wobei die Fluideingangs- und Fluidausgangstemperaturen schrittweise erhöht wurden. Nach dem Vergleich von PV und thermischen Erträgen wurde die Südfassade mit 35% höheren thermischen und 25% höheren PV Erträgen gegenüber der Ostfassade ausgewählt. Zusätzlich wurden die simulierten Oberflächentemperaturen der PV Komponente verglichen um ein mögliches Stagnationsrisiko abzuschätzen. Die höchsten Temperaturen traten dabei für die Ostausrichtung auf.



Abbildung 2: Das Demonstrationsgebäude vor der Renovierung. Der gelbe Rahmen am oberen Ende der Fassade markiert die Fläche, auf der PVT-Komponente installiert wird.

4. TRNSYS Simulationen

Die PVT Elemente wurden in TRNSYS mit einem Kollektor-Type simuliert, der von Dr. Christoph Maurer im Rahmen seiner Doktorarbeit programmiert wurde [2]. Es wurde nur eine Etage des Gebäudes als „Shoe-Box“ mit nur einer thermischen Zone dargestellt. Um die unterschiedlichen Fassadenkonfigurationen zu untersuchen wurde ein virtuelles Gebäude mit den Wetterdaten von Frankfurt benutzt. Für den Rest der Simulationen wurde ein Gebäude mit den genauen Maßen des Demogebäudes und den Eigenschaften seiner Gebäudehülle zusammen mit den Wetterdaten von Madrid verwendet.

Der Massenstrom wurde mit der „matched flow“-Methode kontrolliert, welche in dem selbst programmierten Type realisiert wurde. Dabei wird die Fluidausgangstemperatur durch Variieren des Massenstroms zwischen einem unteren und oberen Limit konstant gehalten. Unter dem unteren Limit wird der Massenstrom gleich null gesetzt, während oberhalb dem oberen Limit der Massenstrom konstant den Wert des oberen Limits hat. Als Zieltemperatur des Auslasses wurde 25 °C, 30 °C und 35°C gewählt und wie erwartet haben niedrigere Temperaturen dazu geführt, dass das System mehr Stunden im Jahr läuft und höhere jährliche Erträge erzielt. Als nächstes wurde eine Verwendung der Kollektoren als Vorwärmung von Nutzwasser simuliert, wobei die Fluideingangstemperaturen als monatliche Durchschnittswerte des tatsächlichen Wassernetzes von Madrid angenommen wurden.

Nach der Auswahl einer Ausrichtung der PVT Komponente wurden zwei verschiedene Fälle untersucht; der theoretische Fall eines unbegrenzten Speichersystems,

bei dem alle vom Kollektor erzeugte Energie auch genutzt wird, und andererseits einen Kollektor, der über einen Wärmetauscher an einen 200 Liter Tank und einen Boiler angeschlossen ist. Für den theoretischen Fall wird das Kollektorfluid als Wasser angenommen, das direkt erwärmt und in die Wohnung geleitet wird, während beim Fall des 200 Liter Tanks von 40%iger Wasser-Glykol Lösung als Kollektorfluid ausgegangen wird, die sich nur im geschlossenen Kreislauf mit dem Wärmetauscher bewegt. Darüber hinaus bedingt der Tank eine Begrenzung der Menge des Brauchwassers und das Nutzerprofil der Bewohner sollte bedacht werden. Für beide Fälle wurden sowohl die PV Gewinne als auch die thermischen Erträge auf jährlicher und monatlicher Basis untersucht.

5. Auswertung des Systems

Die zwei oben beschriebenen Fälle wurden simuliert und verglichen, um den PVT Kollektor und das gesamte System besser zu verstehen und zu evaluieren. Der theoretische Fall bietet die Möglichkeit, das PVT-Potential durch Berechnung der geschätzten thermischen Gewinne zu evaluieren. Durch die Simulation des realistischeren Falls und durch das Einfügen der technischen Gebäudeausrüstung ist es möglich, die Effizienz des Systemkonzepts abzuschätzen, um Schwächen zu erkennen und diese vor der Installation zu verbessern. Als Vergleich der beiden Fälle sind die thermischen Gewinne in Abbildung 3 gezeigt.

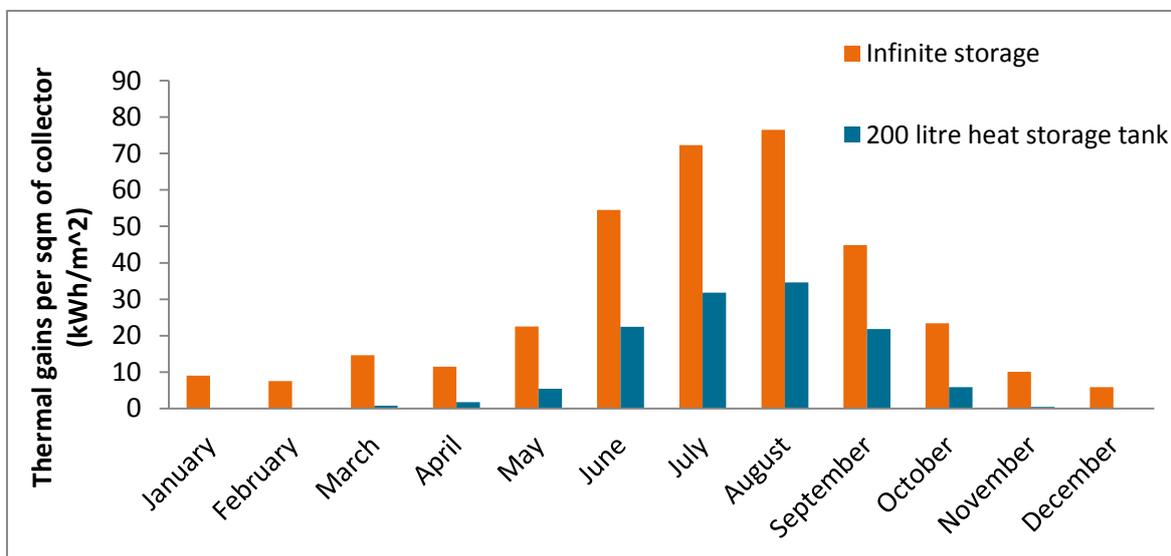


Abbildung 3: Monatliche Summe der thermischen Erträge pro Kollektorfläche für die zwei oben beschriebenen Fälle.

Die PV Erträge des Kollektors hängen hauptsächlich von der installierten PV-Fläche ab und die meisten Verluste waren ein Resultat von hohen Oberflächentemperaturen. Die Unterschiede bei den beiden simulierten Fällen waren jedoch vernachlässigbar, da die Abwärme durch den thermischen Kollektor extrahiert wurde und dadurch die PV nur geringer gestiegen ist. Deshalb gelten die in Abbildung 4 gezeigten PV-Erträge für beide Fälle.

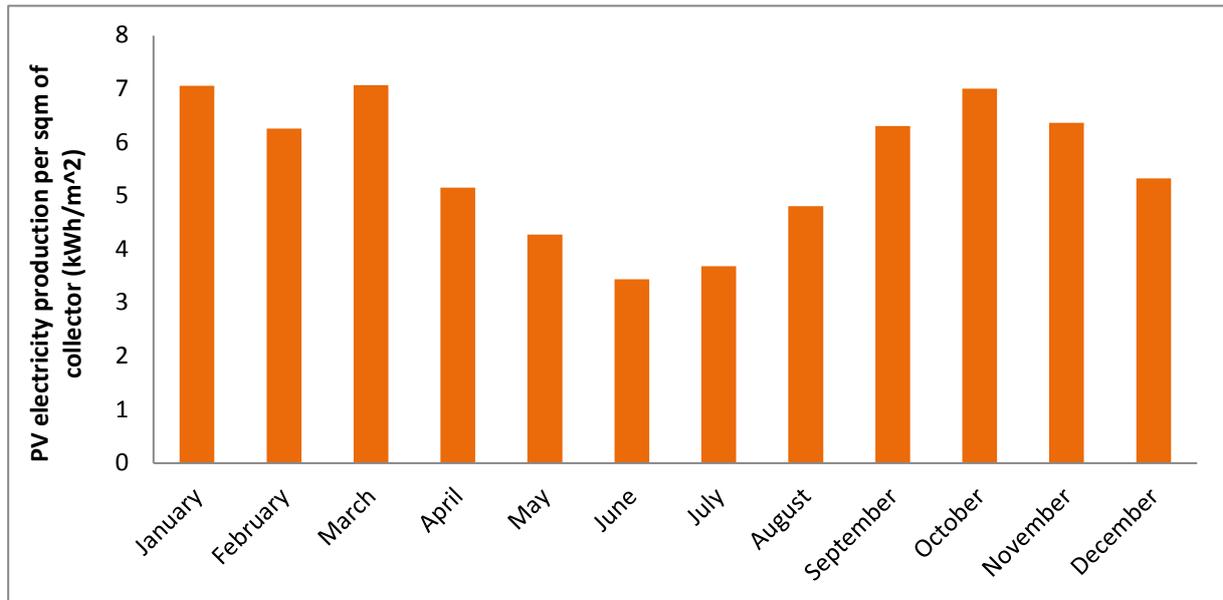


Abbildung 4: Monatliche Summe der PV-Erträge pro Kollektorfläche.

6. Danksagung

Wir danken Christian Schaller von der Sto AG für die gemeinsame Entwicklung der PVT-Konzepte und KOKOTAS für die Auslegung der technischen Gebäudeausrüstung. Wir danken ebenfalls EMVS und CREA für die Informationen über das Demonstrationsgebäude und der Gemeinschaft der Manoj de Rosas 15 für die Teilnahme an diesem Projekt.

7. Literatur

[1] A. Katsifaraki, Assessment of building integrated Photovoltaic/Solar Thermal components, Master thesis, University of Freiburg, 2013.

[2] . Maurer, Theoretical and experimental analysis and optimization of semi-transparent solar thermal façade collectors, PhD thesis (accepted), Department of Architecture, Karlsruhe Institute of Technology, 2012.