

Masterstudiengang SENCE (Sustainable Energy Competence)

2. Projektarbeit:

"Messtechnische Untersuchungen zur thermischen Leistungsfähigkeit des PVT-Kollektorsystems im Plusenergiehaus ECOLAR der HTWG Konstanz"

Von: B.Sc. Katja Pfänder

Kurzfassung

Die photovoltaische und solarthermische Energiebereitstellung hat in den letzten Jahren eine rasante Entwicklung und Verbreitung durchlebt. Gleichzeitig wird gefordert, Sonnenenergie immer kostengünstiger zur Verfügung zu stellen. Eine Möglichkeit zur Kostensenkung und Verbesserung der Flächenausnutzung ist die Kombination der elektrischen und thermischen Solarenergiewandlung in einer einzigen Komponente, einem photovoltaisch-thermischen (PVT-) Kollektor. Damit stehen PVT-Kollektoren nicht mehr nur im Fokus des wissenschaftlichen Interesses, sondern zunehmend auch im Fokus des Marktes.

Im Zuge dieser Projektarbeit wurden erste Messungen am PVT-System des Plusenergiehauses ECOLAR der HTWG Konstanz durchgeführt. Sie hatte zum Ziel, erste Aussagen über die thermische Leistungsfähigkeit der PVT-Kollektoren zu treffen. Im Rahmen der Betrachtungen an den photovoltaisch-thermischen Kollektoren bestand eine Zusammenarbeit mit der Hochschule für Technik in Stuttgart (HfT Stuttgart). Dort wurde ein Teststand mit verschiedenen PVT-Kollektoren, unter anderem dem des ECOLARs, realisiert. Somit besteht die Möglichkeit die Messungen im ECOLAR mit den reproduzierbaren Ergebnissen des Prüfstands zu vergleichen.

Für die messtechnischen Untersuchungen wurde die automatische Regelung des Heiz- und Kühlsystems im ECOLAR abgeschaltet und auf Handbetrieb gestellt. So konnte das Testsystem durch manuelles Einstellen der Ventile klar definiert werden. Wärmeerzeuger des Systems ist die PVT-Kollektoranlage mit insgesamt acht Kollektoren. Wärmeverbraucher ist einer der drei Pufferspeicher unter der Terrasse des ECOLARs.

Folgende Abbildung zeigt den Hydraulikplan des Testsystems von der PVT-Kollektoranlage (Primärkreis) über den Wärmetauscher bis hin zu den Energieverbrauchern im System, den Puffertanks (Sekundärkreis).

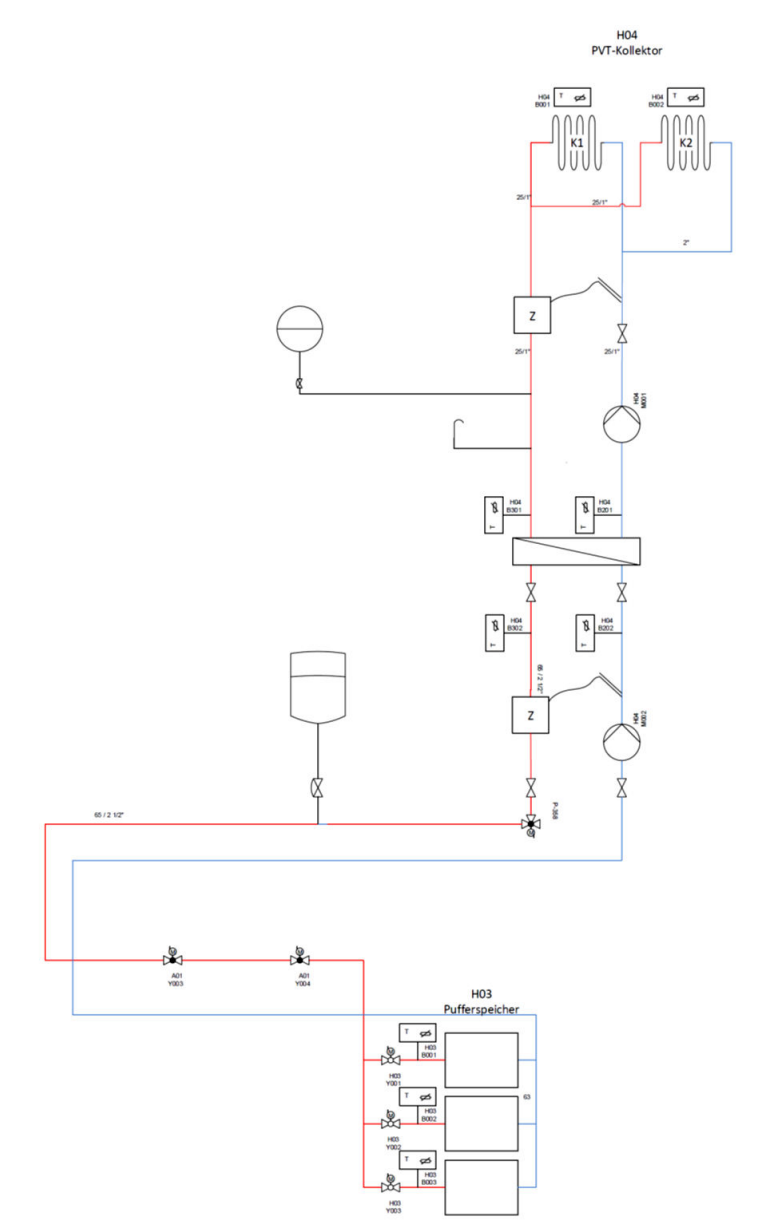


Abbildung 1: Hydraulikplan des Testsystems

Abbildung 2 zeigt exemplarisch den Zusammenhang zwischen Globalstrahlung und Wärmeleistung an einem sonnigen Septembertag. Die Globalstrahlung kann nicht zu 100 % in nutzbare Wärme umgewandelt werden, da sie am Kollektor infolge optischer Verluste durch Reflexion und thermischer Verluste durch Abstrahlung und Wärmeleitung reduziert wird, sodass gilt:

$$\dot{Q}_{prim} = \dot{V}_{prim} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T_{prim} = G \cdot \eta_{Kollektor}$$

Bei Globalstrahlungswerten von maximal 620 W/m^2 , konnte an der Primärseite des Kollektorsystems eine maximale Wärmeleistung von ca. 156 W/m^2 erreicht werden.

Des Weiteren kann anhand des Diagramms festgestellt werden, dass die Wärmeleistung auf der Sekundärseite bedingt durch die Effizienz des Plattenwärmetauschers immer etwas unterhalb der

Primärwärmeleistung liegt. Die Sekundärwärmeleistung lässt sich analog zu \dot{Q}_{prim} mit folgender Formel berechnen:

$$\dot{Q}_{sek} = \dot{V}_{sek} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T_{sek}$$

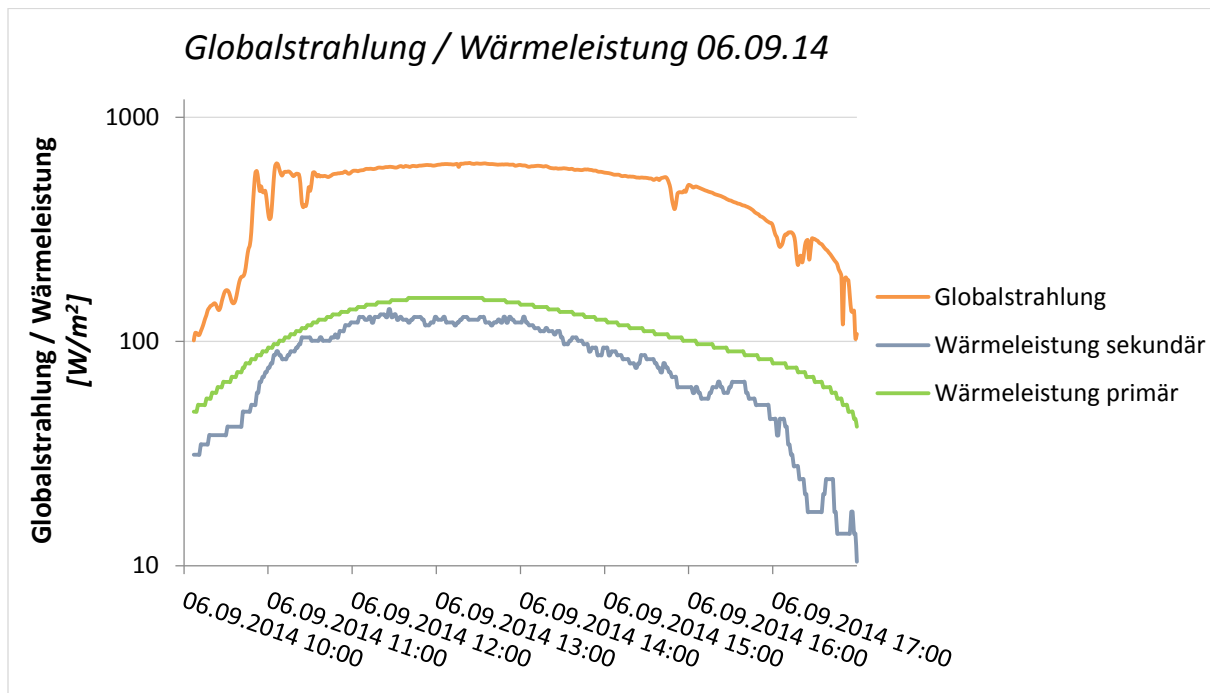


Abbildung 2: Globalstrahlung sowie Wärmeleistung primär und sekundär

Die Fläche unter der Sekundärleistung in Abbildung 2 bildet die nutzbare Energie ab, die über den Tag gewonnen und im Tank in Form von Wärme eingespeichert wird. Von 10 bis 18 Uhr werden am 06.09. insgesamt 19 kWh bzw. 0,66 kWh/m²-Kollektorfläche erzeugt und in den Tank eingebracht. Rein rechnerisch betrachtet kann der Tank damit um ca. 22 K erwärmt werden. Diese 19 kWh werden jedoch direkt nach dem Wärmetauscher im Technikraum des ECOLARs gemessen. Die Energie, die letztendlich im Tank ankommt, wird aber infolge von Wärmeverlusten an den Rohrleitungen und im Tank selbst reduziert. Die gemessene Temperaturerwärmung des Tanks liegt daher letztendlich nur bei ca. 15 K und damit werden nur 13 kWh im Tank in Form von Wärme eingespeichert. Diese recht hohen Wärmeverluste entstehen, da die Rohrleitungen zu den Tanks noch größtenteils unisoliert sind und der Tank selbst noch nicht gedämmt ist.

Neben dem spezifischen Leistungsverlauf über einen Tag, wurde des Weiteren versucht eine Aussage über den thermischen Wirkungsgrad der Absorber im Heizfall zu treffen. Hierfür wurden drei Tage zur Auswertung herangezogen, die eine recht regelmäßige solare Einstrahlung über den Tag aufwiesen. Das Diagramm zeigt wie sich der Wirkungsgrad bei einem konstanten Massenstrom von

0,014 kg/s*m² und Einstrahlungswerten zwischen 500 und 650 W/m² bei steigender Temperaturdifferenz zwischen Kollektor und Umgebung ($T_m - T_a$) verändert.

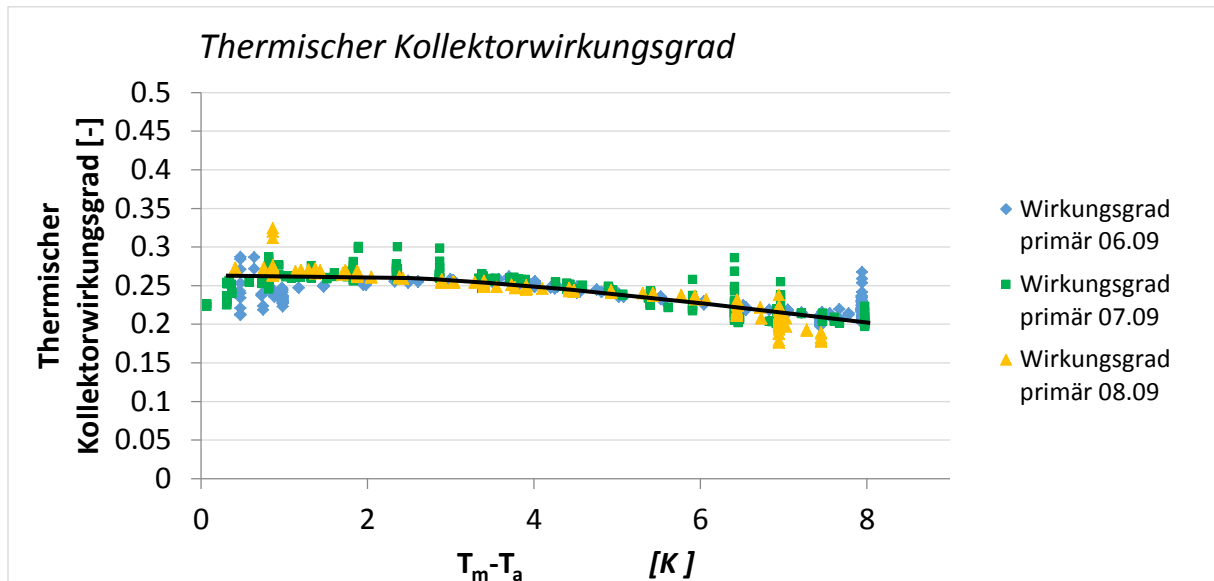


Abbildung 3: Thermischer Kollektorwirkungsgrad in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zwischen Kollektor und Umgebung (eigene Darstellung)

Das Diagramm weist tendenziell auf eine Abnahme des Kollektorwirkungsgrades mit steigender Temperaturdifferenz hin. Normalerweise wird die Wirkungsgradkennlinie für eine bestimmte, festgesetzte Einstrahlung gebildet. Je höher der Einstrahlungswert, desto flacher verläuft die negative Steigung der Kennlinie. Die Werte im Diagramm streuen teilweise stark, was wahrscheinlich Folge der Testbedingungen bei unregelmäßigen Einstrahlungswerten zwischen 500 und 650 W/m² ist. Da durch die hohen Volumenstromereinstellungen beim Testlauf keine höheren Kollektortemperaturen erreicht werden konnten, lässt sich hier nur vermuten, dass der Kollektorwirkungsgrad mit steigender Temperaturdifferenz infolge der immer höher werdenden Wärmeverluste am Kollektor weiter abnimmt. Der optische Wirkungsgrad der Kollektoren liegt vermutlich zwischen 20% und 30%, da dieser über den Schnittpunkt der Wirkungsgradkennlinie mit der y-Achse abgelesen werden kann. Die recht geringen Werte des thermischen Wirkungsgrades sind zum einen bedingt durch die fehlende rückseitige Dämmung des Kollektors aufgrund der Anwendungserweiterung zur sommerlichen Nachtstrahlung und der daraus resultierenden hohen rückseitigen Wärmeverluste. Des Weiteren könnte die mangelhafte Anbringung der Absorber an den PV-Modulen die Wärmeleitung beeinträchtigen und letztendlich den Wirkungsgrad der Kollektoren reduzieren.

Bei Betrachtung der Messergebnisse in Abbildung 3 fällt auf, dass die Temperaturdifferenz durch die hohen Volumenströme zwischen Kollektor und Umgebung nicht höher als 8 K wird. Die Temperaturfühler weisen eine typische Genauigkeit von +/- 0,4 K auf. Solange keine Eichfehler

vorliegen, bedeutet dies für die Berechnung der Temperaturdifferenz zwischen Kollektor und Umgebung, dass ein Fehler von höchstens 0,8 K auftreten kann. Bei hier nur insgesamt 8 K erreichter Temperaturdifferenz, sind in Zukunft messtechnische Untersuchungen bei höheren Temperaturdifferenzen für eine präzisere Aussage über den thermischen Wirkungsgrad der Kollektoren nötig.

Neben der Wärmeleistung wurde auch die "Kälteleistung" der PVT-Kollektoren des ECOLARs untersucht. Das Testsystem war dabei das Selbe (Abbildung 1). Die PVT-Anlage lief hier über Nacht, sodass die PVT-Kollektoren die Wärme im Tank gegen den kalten Nachthimmel abgeben und die Tanktemperatur somit absenken konnten.

Abbildung 4 zeigt beispielhaft die PVT-Kälteleistung sekundär sowie die Tank- und Außentemperatur vom 06.09.14 um 18:20 Uhr bis 07.09.14 um 09:45 Uhr. Die maximale Kälteleistung lag in dieser Nacht bei 41 W/m^2 . Es lässt sich beobachten, dass die übertragene Kälteleistung ab ca. 23 Uhr langsam abnimmt. Dies ist Folge der sich verringernden Temperaturdifferenz zwischen Tank und Außentemperatur. Die Tanktemperatur sinkt von ca. 32 °C auf 16 °C ($dT = 16 \text{ K}$). Über Nacht werden insgesamt ca. $9,2 \text{ kWh}$ bzw. $0,34 \text{ kWh/m}^2$ -Kollektorfläche Wärme über die PVT-Kollektoren abgegeben, resp. "Kälteleistung" erzeugt. Rechnerisch dürfte mit diesem Wert die Tanktemperatur nur um 11 K absinken. Die Differenz zwischen errechnetem und gemessenen Wert kann wiederum auf die Wärmeverluste der Rohrleitungen und des Tanks zurückgeführt werden.

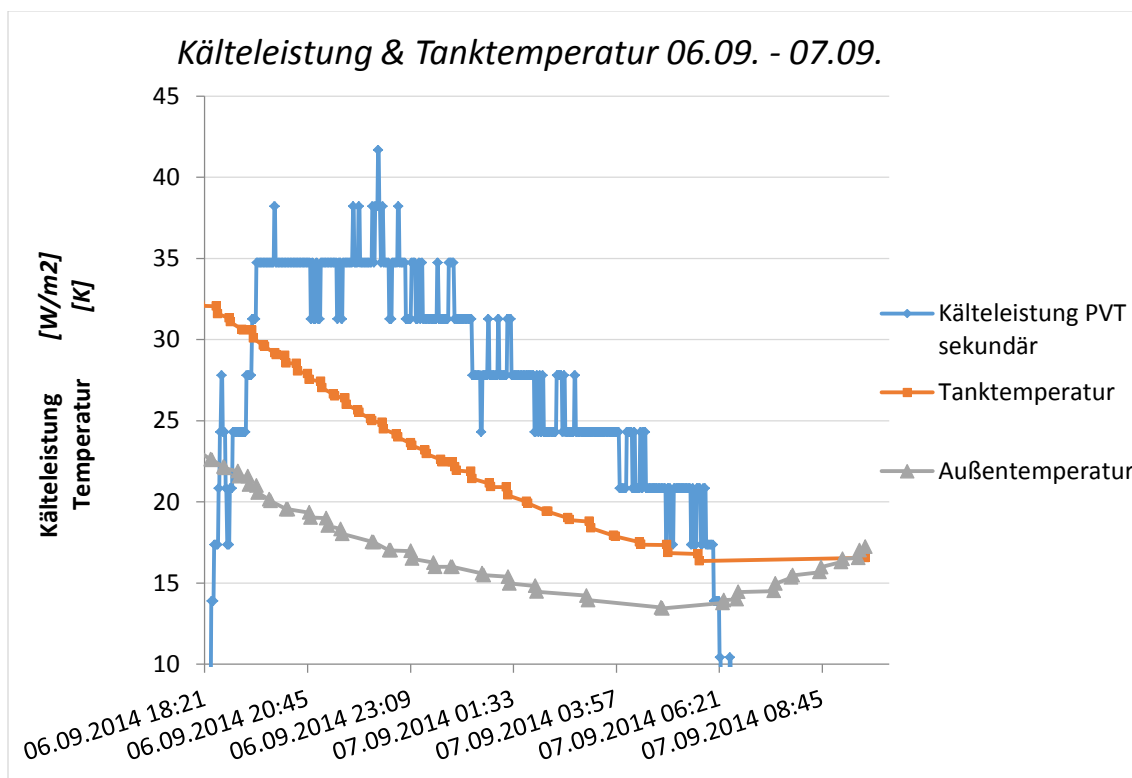


Abbildung 4: "Kälteleistung", Tank- und Außentemperatur über Nacht (06.09. - 07.09.)

Es wäre interessant hier zudem die Leistung der Energiequelle, im Kühlfall also die langwellige Abstrahlung gegen den Nachthimmel, im Vergleich zur erzeugten Kälteleistung aufzuzeigen. Um diese zu messen, wird ein sogenanntes Pyrgeometer benötigt. Damit wäre es schließlich auch möglich, den Wirkungsgrad der Kollektoren für den Kühlfall zu ermitteln.

Außerdem müssen für genauere Aussagen längere Zeiträume betrachtet werden, um über mehr Datenpunkte zu verfügen. Nur so lassen sich Aussagen über verschiedene Betriebszustände resp. unterschiedliche Wettersituationen machen und miteinander vergleichen. Im Rahmen dieser Projektarbeit wurde die thermische Leistungsfähigkeit der PVT-Kollektoren in der Übergangszeit, d.h. im Herbst untersucht. So konnten beispielhaft erzeugte Wärmemengen über einen Tag bzw. abgegebene Wärmemengen über eine Nacht ermittelt werden. Weitere Untersuchungen sollten nun der Leistungsfähigkeit der Kollektoren für den Heizfall im Winter gelten. Hierfür muss das Kollektorsystem mit Frostschutzmittel befüllt und die Pufferspeicher unter der Terrasse mit Heizstäben versehen oder gedämmt werden. Im Zuge dieser Untersuchungen wird die Wärmepumpe im System eine wichtige Rolle spielen. Vor allem bezüglich der Frage, ob und bis zu welchen Außentemperaturen im Winter das vom Dach bzw. den Kollektoren kommende Temperaturniveau noch zur Verdampfung in der Wärmepumpe ausreicht bzw. ab welcher Außentemperatur im Winter ein weiteres Heizsystem zugeschaltet werden muss. Gleichmaßen sollte in Zukunft die Leistungsfähigkeit der Kollektoren für den Kühlfall im Sommer ermittelt werden. Auch hier muss die Funktion der Wärmepumpe in die Untersuchungen mit eingebunden werden.

Zur vollständigen Bewertung der PVT-Kollektoren sollte zudem noch der Wirkungsgrad der PV-Module untersucht werden. Aufgrund der Verschaltung der PV-Module (jeweils 8 in Reihe auf der West- und Ostfassade) kann die Auswirkung der mittleren Fluidtemperatur auf die Effizienz der Module erst untersucht werden, sobald die kaputten thermischen Kollektoren auf dem Dach repariert bzw. ausgetauscht werden.