

Simulationsbasierte Überwachung und Optimierung einer großen Solaranlage zur solaren Kühlung und Heizungsunterstützung

Antoine Dalibard^{1*}, Dirk Pietruschka¹, Jürgen Schumacher¹, Ursula Eicker¹, Klaus Huber²
zafh.net - Centre of Applied Research Sustainable Energy Technologies

¹Hochschule für Technik Stuttgart, Schellingstr. 24, 70174 Stuttgart,

²Hochschule für Technik Offenburg, Badstr. 24, 77652 Offenburg,

*antoine.dalibard@hft-stuttgart.de, Tel +49 711 8926 2875, Fax +49 711 8926 2698

1. Einleitung

Die Einbindung von großen Solaranlagen in bestehende Heiznetze von Gebäuden stellt oftmals eine gewisse regelungstechnische Herausforderung dar. Dies gilt insbesondere dann, wenn in einem innovativen Bürogebäude ein komplexes Heizungsnetz mit Heizkreisen auf unterschiedlichem Temperaturniveau vorhanden ist, über das z.B. im Sommer Adsorptionskältemaschinen und im Winter Betondecken mit Bauteilaktivierung versorgt werden [1-3]. Im konkreten Fall wird eine 1218 m² große Kollektoranlage aus CPC Vakuum-Röhrenkollektoren, die in das Heiznetz eines bestehenden innovativen Bürogebäudes der Firma FESTO AG in Esslingen (Süddeutschland) integriert wurde, betrachtet. Die zwischenzeitlich fertig gestellte Solaranlage wurde im Rahmen des Solarthermie 2000plus Programms mit einem umfangreichen Monitoringsystem ausgestattet [4], das über Softwareschnittstellen mit der Gebäudeleittechnik verbunden ist. Zur Optimierung der Regelung und Einbindung in das bestehende komplexe Heiznetz des Gebäudes, wurden bereits im Rahmen der Planung umfangreiche Untersuchungen mit Hilfe eines in der Simulationsumgebung INSEL [5] erstellten dynamischen Simulationsmodells der Solaranlage durchgeführt [2,3].

2. Bürogebäude der FESTO AG & C0. KG in Esslingen

Das innovative Bürogebäude der Firma FESTO in Esslingen (Abbildung 1) mit ca. 25.000 m² Bruttogeschossfläche wird im Sommer über insgesamt drei MYCOM TYP ADR-100 Adsorptionskälteanlagen mit einer Nennkälteleistung von jeweils 353 kW sowie über zahlreiche thermisch aktivierte Bohrpfähle zur unterstützenden Klimatisierung gekühlt. Die Kälteverteilung erfolgt im Gebäude zum einen über die Lüftungsanlagen, die über die Adsorptionskältemaschinen mit Kälte versorgt werden

und zum anderen über die thermisch aktivierten massiven Geschossdecken des Gebäudes, die im Wesentlichen durch die aktivierten Bohrpfähle gekühlt werden. Im Winter werden die thermisch aktivierten massiven Geschossdecken zur Beheizung des Gebäudes mit sehr niedrigen Vorlauf- und Rücklauftemperaturen betrieben. Damit sind optimale Voraussetzungen für eine sehr effiziente Nutzung solar erzeugter Wärmeenergie gegeben.



Abbildung 1: Bürogebäude der Firma FESTO AG & Co. KG in Esslingen

3. Solaranlage

Die Installation der Solaranlage wurde Ende des Sommers 2007 abgeschlossen und die Anlage wurde Ende 2007 in Betrieb genommen. Manche Sensoren des Datenerfassungssystems sind bis jetzt nicht angeschlossen bzw. noch nicht kalibriert. Aus diesem Grund konnte keine komplette Validierung der Online-Simulationsergebnisse mit belastbaren Messwerten durchgeführt werden. Verfügbare Messdaten wurden zur Analyse der Controlstrategie der Solarpumpen und zur Leistungsanalyse der Gesamtanlage genutzt.

a. Komponenten der Solaranlage

Zur Installation der Kollektoranlage stehen nach Süden orientierte Sheddächer mit einer Neigung von 30° zur Verfügung, die bei kompletter Belegung Kollektoren mit einer Fläche von insgesamt 1218 m^2 aufnehmen können. Nach derzeitiger Planung und Ausschreibung sind zur Installation Vakuum-Röhrenkollektoren der Fa. Paradigma mit folgender Verschaltung vorgesehen.

- **Kollektoren:**

Kollektorfläche: 1218 m²

Kollektortyp: Paradigma Vakuumröhrenkollektoren Typ CPC

- 58 Paradigma CPC 30 mit je 3,0 m² Absorberfläche

- 232 Paradigma CPC 45 mit je 4,5 m² Absorberfläche

Verschaltung: 58 Felder (je 4 CPC 45 + 1 CPC 30 in Reihe verschaltet) parallel

Ausrichtung: Süd + 18°

Neigung: 30°

- **Wärmespeicher:** Zwei in Reihe geschaltete Wärmespeicher mit je 8.5 m³ Speicherinhalt

- **Anbindung:** Die Solarkollektoren sind direkt mit dem Speicher ohne zusätzlichen Wärmetauscher verbunden und werden mit Wasser ohne Frostschutzzusatz durchströmt.

b. Integration der Solaranlage in dem Heizkreisverteiler

Im Heizbetrieb ist die solar erzeugte Wärmeenergie zunächst an die Bauteilaktivierung mit einer maximalen Kapazität von 200 kW auf einem niedrigen Temperaturniveau von 50/30°C übergeben. Wenn das Solarsystem (z.B. in Herbst oder in Frühling) mehr als 200 kW liefert, wird die Wärmeenergie auf ein höheres Temperaturniveau umgestellt und für den Rest des Tages an den Hauptheizkreisverteiler des Gebäudes angeschlossen (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: Einbindung der Solaranlage im Winterbetrieb

	Fall 1 (Q _{kol} < 200 kW)		Fall 2 (Q _{kol} > 200 kW)	
	Speicherseitig	Bauteilaktivierung	Speicherseitig	Heizungsnetz
Temperaturniveaus	50 / 30°C	28 / 25°C	70 / 60°C	70 / 60°C
Maximale Übertragungsleistung	200 kW		600 kW	

Im Sommer wird die solare Wärmeenergie direkt an den Hauptverteiler der Heizungsanlage übergeben, der dann im Wesentlichen die Adsorptionskältemaschinen (ADKM) mit Wärme versorgt (s. Tabelle 2).

Tabelle 2: Einbindung der Solaranlage im Sommerbetrieb

	Speicherseitig	Heizungsnetz
Temperaturniveaus	70 / 60°C	70 / 60°C
Maximale Übertragungsleistung	600 kW	

Das Prinzip der Integration der Solaranlage in das Heiznetz des Gebäudes ist in Abbildung 2 dargestellt.

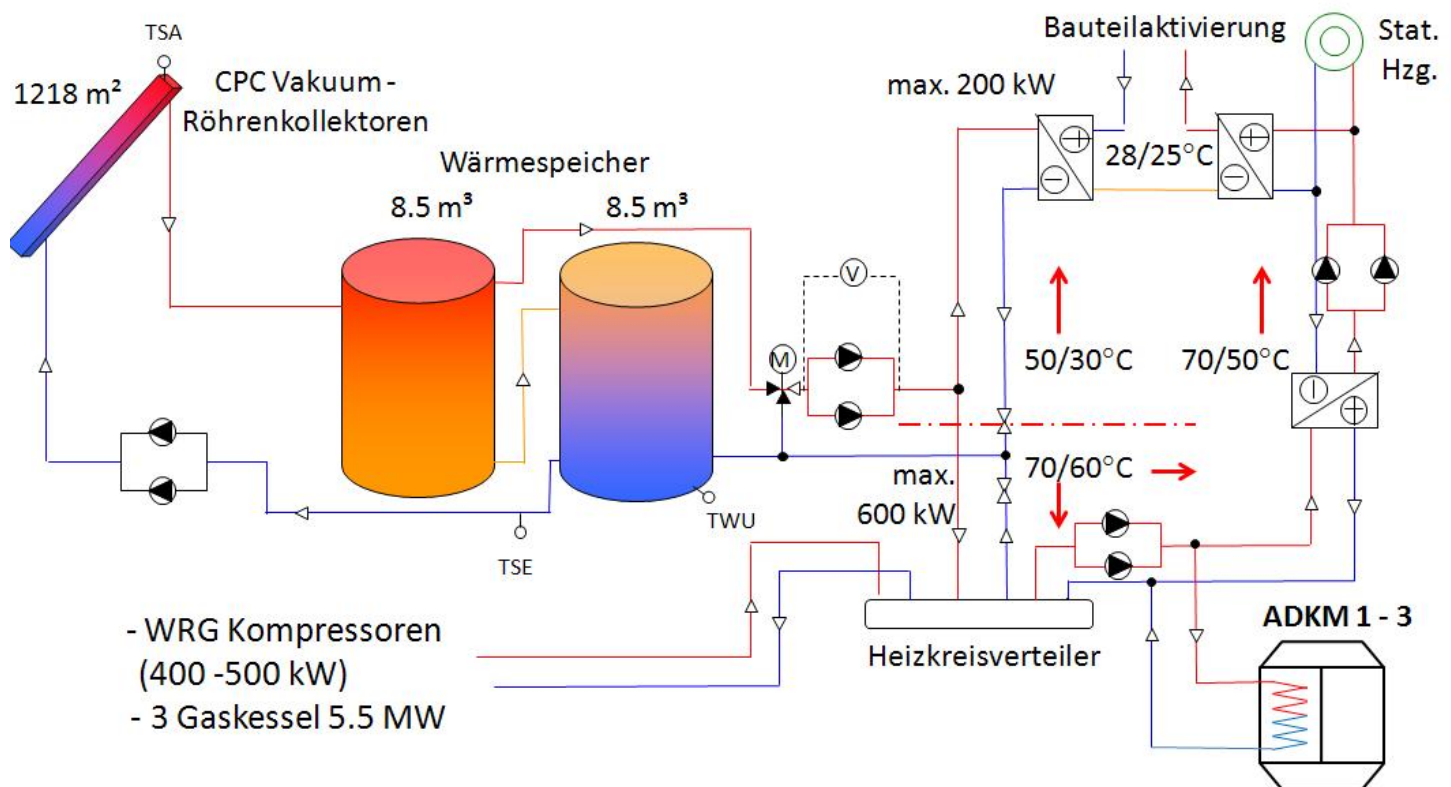


Abbildung 2: Integration der Solaranlage in dem Heizkreisverteiler des Gebäudes

c. Regelung der Solaranlage

Die Solaranlage wird mit Hilfe mehrerer Sensoren an unterschiedlichen Messpunkten gesteuert (Abb. 2: TWU, TSE, TSA). Die Solarpumpen werden nicht über eine simple Ein –Aus-Regelung, sondern mit Hilfe einer variablen Durchflussregelung, um in

Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen die erforderlichen Temperaturen am Ausgang des Kollektorfelds (50-70°C) zu erzielen. Abbildung 3 zeigt die Durchflussrate des Kollektorfelds in Abhängigkeit der Auslasstemperaturen über eine Messdauer von eineinhalb Monaten (18. Dezember 2007 bis 31. Januar 2008)

Da der Wärmeträger im Kollektorfeld aus reinem Wasser ohne Frostschutzzusätze besteht, muss eine sorgfältige Regelung des Solarsystems erfolgen, um Frostschäden an der Anlage zu verhindern. Dieses besondere Regelungskonzept der Firma Paradigma besteht darin, Wasser auf niedrigem Temperaturniveau in kurzen Zeitabständen aus dem Wärmespeicher durch das Kollektorfeld zirkulieren zu lassen (siehe Abb. 3). Die 4 Sensoren (TSA) sind in den Außenbereichen des Kollektorfelds angebracht, um eventuell auftretende ungleichmäßige Temperaturverteilungen zu erkennen und gegebenenfalls Maßnahmen zur Verhinderung von Frostschäden einleiten zu können.

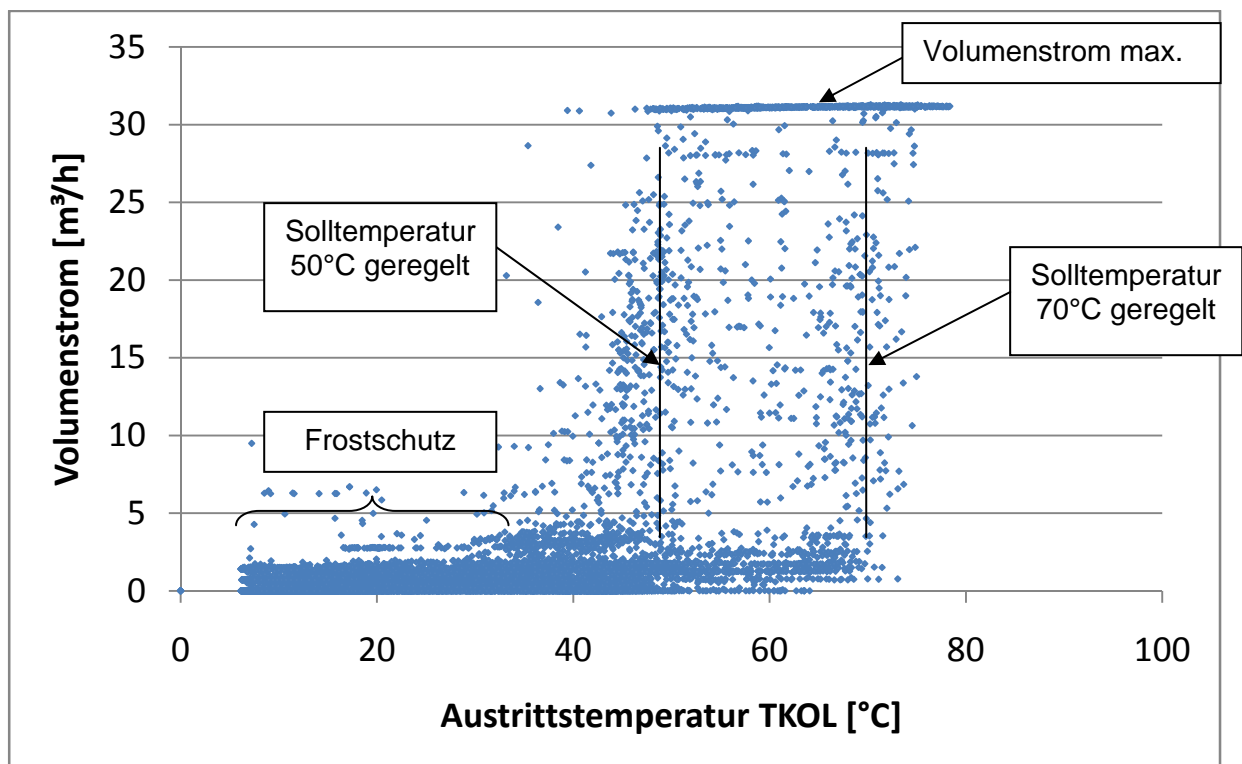


Abbildung 3: Volumenstrom Vs Kollektorausstrittstemperatur (18. Dezember – 31. Januar)

4. Simulation der Solaranlage

In die Simulationsumgebung INSEL wurde ein detailliertes dynamisches Modell des Solarsystems integriert und Jahressimulationen der Solaranlage unter

Berücksichtigung einer Frostschutzregelung durchgeführt. Die Ergebnisse der Simulation hinsichtlich des spezifischen Nutzwärmeertrags sowie des zusätzlichen thermischen und elektrischen Energiebedarfs für die Frostschutzregelung werden in Tabelle 3 beschrieben.

Tabelle 3: Ergebnisse der Simulation der Solaranlage

Spezifischer Nutzwärmeertrag	Solarer Nutzungsgrad	Zusätzlicher jährlicher thermischer Energiebedarf	Energieverluste bezogen auf die Nutzwärme	Zusätzlicher jährlicher elektrischer Energiebedarf
551 kWh/m ² .a	38.8%	11 MWh	1.65%	250 kWh _{el}

Ein typischer Wintertag (19. Februar 2008) wurde mit realen Wetterdaten simuliert und mit den gemessenen Daten verglichen. Abbildung 4 beschreibt die gemessenen und simulierten Daten der Temperaturen am Ausgang des Kollektorfelds.

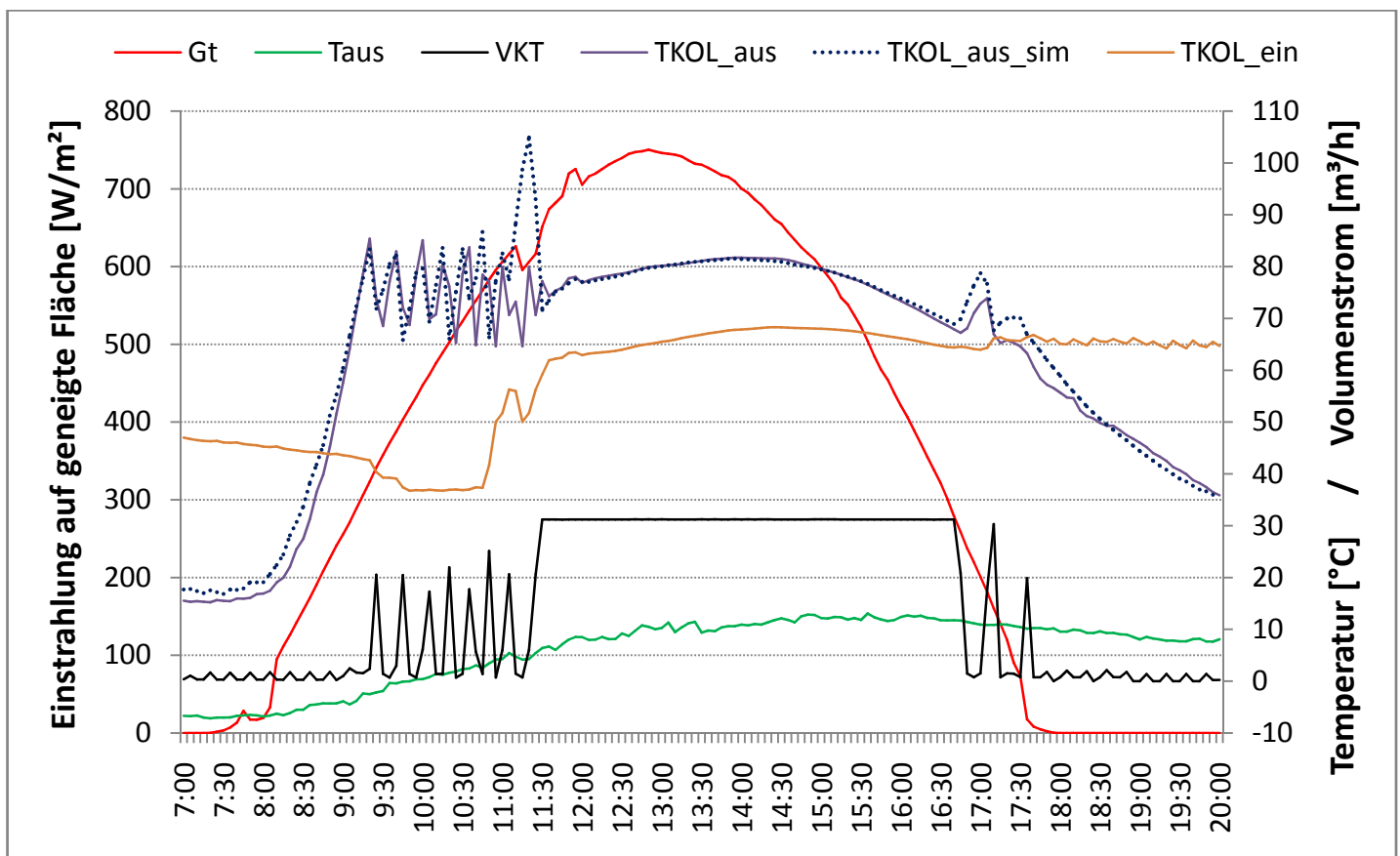


Abbildung 4: Gemessene und simulierte Kollektorausgangstemperaturwerte (19. Februar 2008)

Man kann erkennen, dass die Simulationsergebnisse bei konstanten Durchflussmengen hervorragend mit den Messergebnissen übereinstimmen. Abweichungen zwischen Messung und Simulation treten bei häufigen Volumenstromänderungen auf. Das ist in erster Linie auf das einfache verwendete Kollektormodell zurückzuführen (dynamisches Einknoten-Modell), für das die Parameter von Test-Zentren experimentell bei Auslegungsvolumenströmen bestimmt wurden. In jedem Fall kann die Aussage getroffen werden, dass das Kollektorfeld die Auslegungsleistung erbringt.

5. Zusammenfassung

Die vor kurzem installierte Solaranlage des FESTO Technologie Zentrums soll Wärme für Heiz- und Kühlzwecke zur Verfügung stellen. Das Datenerfassungssystem der Gesamtanlage wird in Verbindung mit einer Online-Simulation ein besseres Verständnis der Anlagenregelung und eine Anlagenoptimierung ermöglichen. Obwohl es zum jetzigen Zeitpunkt noch zu früh ist, um Rückschlüsse auf die Funktion des Gesamtsystems zu ziehen, kann zumindest die Aussage getroffen werden, dass die Kollektoranlage die gewünschte Leistung erzielt.

6. Danksagung

Diese Veröffentlichung wäre ohne die Unterstützung von Klaus Huber von der Fachhochschule Offenburg, der für das Monitoring der Solaranlage und der Kälteanlagen verantwortlich zeichnet, nicht möglich gewesen. Diese Arbeit wurde durch das Marie Curie Nachwuchswissenschaftler Forschungs- und Training Netzwerk „Advanced solar heating and cooling for buildings-SOLNET“ im 6. Rahmenprogramm der Europäischen Kommission unterstützt.

<http://cms.uni-kassel.de/index.php?id=2142>

Referenzen:

- [1] Henning, H.-M. "Solar-assisted air-conditioning in buildings – a handbook for planners", Springer-Verlag 2004, ISBN 3-211-00647-8
- [2] Pietruschka, D., Dalibard, A., Eicker, U., Schumacher, J., Hanby, V. "Simulationsbasierte Planung solar betriebener Kälteanlagen an zwei Beispielen aus der Praxis", 17. Symposium Thermische Solarenergie Staffelstein, 2007.
- [3] Dalibard, A., Pietruschka, D., Eicker, U., Schumacher. "Performance analysis and optimisation through system simulations of renewable driven adsorption chillers". 2nd SAC, Tarragona, Spain, 2007.
- [4] Huber, K. "Detailmonitoring einer solarthermischen Anlage zur Unterstützung des Kälteversorgung eines Büro – und Verwaltungsgebäudes", 18. Symposium Thermische Solarenergie Staffelstein, 2008.
- [5] Schumacher, J. "Digitale Simulation regenerativer elektrischer Energieversorgungssysteme", Dissertation Universität Oldenburg, 1991 www.insel.eu