

# **Detailmonitoring einer solarthermischen Anlage zur Unterstützung der Kälteversorgung eines Büro- und Verwaltungsgebäudes**

Klaus Huber, Elmar Bollin  
Hochschule Offenburg  
Badstraße 24, 77652 Offenburg  
Tel.: 0781 205 294, 0781 205 138  
klaus.huber@fh-offenburg.de  
www.fh-offenburg.de/mv/st2000

## **1 Einleitung**

Die Hochschule Offenburg begleitet seit Juli 2006 in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer ISE in Freiburg, die solar unterstützte Klimatisierung der Festo AG & Co. KG in Esslingen im Rahmen von Solarthermie2000plus. Im Rahmen dieses Projektes und des Vorgängerprojektes Solarthermie-2000 wurde durch die Hochschule Offenburg seit 1999 eine Vielzahl von Großanlagen wissenschaftlich begleitet und bewertet [1], [2], [3], [4]. Dabei wurde die bereits bestehende Adsorptionskälteanlage, die bisher mit Gaskesseln und Kompressorenabwärme betrieben wurde, durch eine Solaranlage, als dritte Wärmequelle, ergänzt.

Das Solarsystem setzt sich aus einem Kollektorfeld mit 1218 m<sup>2</sup> Vakuumröhrenkollektoren und zwei Pufferspeichern zusammen. Die Kälteerzeugung wird mit drei Adsorptionskältemaschinen (AdKMs) mit je 353 kW Nennkälteleistung realisiert. Solarsystem und Kälteanlage werden über das Heizungssystem über diverse Verteiler miteinander verbunden. Zusätzlich wird die Solaranlage an die Niedertemperatur-Bauteiltemperierung eines neuen Gebäudes angeschlossen, um außerhalb der Betriebszeiten der Kältemaschinen die Solarwärme optimal bei niedrigen Rücklauf-temperaturen nutzen zu können.

Mit Hilfe von ca. 80 Sensoren wird ein Detailmonitoring des Solar- und Kälteanlagenbetriebs durch die Hochschule Offenburg ermöglicht. Durch das Messsystem soll eine detaillierte Analyse des Anlagenbetriebs, u.a. hinsichtlich des Optimierungspotentials, ermöglicht werden. Hierbei wurde ein besonderes Augenmerk auf Temperaturniveau, Stromverbrauch, Regelung und Anlagenhydraulik sowie die Abstimmung zwischen Solarsystem und Kältemaschinen gelegt. Die Möglichkeit zur Ermittlung von Anlagenkenndaten wie Nutzungsgrade, Deckungsanteile und Arbeitszahlen stellen weitere Anforderungen an das Messsystem dar.

Die Begleitung und Vermessung solcher Solargroßanlagen soll Erkenntnisse über Möglichkeiten und Grenzen der thermischen Solarenergienutzung liefern. Erfahrungen mit Demonstrationsanlagen sollen genutzt werden, um zukünftige Solaranlagen zur Kälteerzeugung noch effektiver planen, errichten und betreiben zu können. Die solar unterstützte Klimatisierung soll in naher Zukunft auch aus wirtschaftlicher Sicht eine Alternative zum Einsatz konventioneller Kälteerzeugung mit Kompressionskältemaschinen darstellen.

## 2 Systemkonfiguration und Anlagendaten

Mit drei Kältemaschinen vom Typ MYCOM ADR-100 mit je 353 kW Nennleistung, betreibt die Firma Festo AG & Co. KG in Esslingen die momentan weltweit größte Adsorptionskälteanlage auf Silikagel/Wasser-Basis. Mit der erzeugten Kälte werden 26.760 m<sup>2</sup> Bürofläche sowie drei Atrien mit 2.790 m<sup>2</sup> Fläche gekühlt.

Die AdKMs wurden bisher mit Abwärme von Kompressoren und Wärme aus Gas-/Öl-Kesseln bei ca. 60°C betrieben. Als dritte Wärmequelle wurde nun eine Solaranlage mit 1218 m<sup>2</sup> CPC-Vakuumröhrenkollektoren und damit das europaweit größte Vakuumröhren-Kollektorfeld an einer solaren Klimatisierungsanlage, hinzugefügt (Abb. 1). Den begrenzenden Faktor, bei der Auslegung der Kollektorfeldgröße, stellte hier die zur Verfügung stehende geeignete Dachfläche dar.



Abb. 1: Kollektorfeld der solarunterstützten Klimatisierung der Festo AG & Co. KG in Esslingen

Zur Erhöhung des COP der Kältemaschinen soll die Antriebstemperatur auf 70°C erhöht werden. Wegen dieses relativ hohen Temperaturniveaus und um einen höheren Deckungsanteil, als mit Flachkollektoren möglich wäre, erzielen zu können, wurde die Entscheidung zu Gunsten der Vakuumröhrenkollektoren, gefällt. Die auf einem Sheddach installierten Kollektoren weichen in Ihrer Ausrichtung um 17° von der Südrichtung nach Westen (Azimutwinkel 17°) ab und sind um 30° zur Horizontalen geneigt. Durch die enge Anordnung des Sheddachs kommt es im Winter im unteren Bereich der Kollektoren zu Verschattungen (max. 20 % der Kollektorfläche). Der Ein-

fluss durch die Verschattung wird allerdings als gering eingeschätzt und wurde bei der durch den Kollektorhersteller garantierten Wärmemenge berücksichtigt.

Eine Besonderheit stellt bei dieser Anlage das „Nur-Wasser-System“ dar, bei dem im Kollektorkreis kein Frostschutzmittel zugesetzt wird. Vorteile dieses Typs sind, dass kein Wärmeübertrager benötigt wird, der die Wärme vom Kollektorkreis an das Heizungssystem übergibt und die höhere Wärmekapazität des Wassers im Vergleich zu Wasser/Glykol-Gemischen. Glykol neigt außerdem bei hohen Temperaturen, wie sie bei (Teil-)Stagnation in Vakuumröhrenkollektoren auftreten können, dazu, sich zu zersetzen. Dadurch können sich die relativ feinen Flüssigkeitskanäle in den Vakuumröhren zusetzen. (Teil-)Stagnationen können durch eine inhomogene Durchströmung des Kollektorfeldes entstehen, wodurch es zur lokalen Dampfbildung in den schlecht durchströmten Bereichen des Kollektorfeldes kommen kann.

Nachteile des direkten „Nur-Wasser-System“ sind, die erforderliche Frostschutzschaltung und bei (Teil-)Stagnation auftretende Druckspitzen. Durch die Frostschutzschaltung wird verhindert, dass das Wasser im Kollektor im Winter einfriert. Hierbei wird bei Unterschreiten eines Temperaturschwellenwerts warmes Wasser aus den Speichern in die Kollektoren gepumpt und durch gezielte Wärmezufuhr das Einfrieren exponierter Bereiche verhindert. Durch Druckspitzen bei (Teil-)Stagnation können negative Auswirkungen auf das gesamte Heizungssystem auftreten, da Kollektorkreis und Heizungssystem nicht über einen Wärmeübertrager entkoppelt sind. Zur Überprüfung der Homogenität der Durchströmung der einzelnen Teilfelder wurden zehn Temperatursensoren im Kollektorfeld verteilt eingebaut.

Die gewonnene Solarwärme kann in zwei 8,5 m<sup>3</sup>-Behältern zwischengespeichert werden. Diese enthalten bei kompletter Beladung genügend Wärme, um einen Arbeitszyklus (ca. 10 min.) einer AdKM abdecken zu können. Das Solarsystem ist über mehrere Verteiler/Sammler mit den AdKMs und anderen Wärmeverbrauchern der Gebäude verbunden. Durch die indirekte Verbindung zwischen Kältemaschinen und Solarsystem über das Heizungssystem kann die Solarwärme ganzjährig von allen Wärmeverbrauchern genutzt werden.

Im Winter kann die Solarwärme außerdem direkt auf Niedertemperaturniveau über eine Betonkernaktivierung für die Gebäudeheizung genutzt werden. Hierzu wird die Solltemperatur in den Speichern von 70°C auf das Einspeisetemperaturniveau von 50°C zur Bauteiltemperierung herabgesetzt und die Solarwärme direkt auf die Betonkernaktivierung geschaltet.

Im Projekt Solarthermie2000plus wird allgemein die Abgabe einer Energiegarantie durch den Lieferanten der Solaranlage verlangt. Bei Anlagen zur solaren Klimatisie-

nung wird allerdings hierauf verzichtet, da nicht genügend Erfahrungen beim Betrieb vorliegen. Trotzdem wurde seitens des Betreibers unter der Bedingung der ständigen Abnahme der gesamten vom Kollektorfeld gelieferten Wärme vom Kollektorhersteller eine Energiegarantie verlangt. Die Anlage wurde von der HfT-Stuttgart mit Insel [5], vom Hersteller mit ColSim und vom Fraunhofer ISE sowie der Hochschule Offenburg jeweils mit einem eigenen Simulationstool modelliert. Hierbei lagen fast alle Simulationen beim Ertrag auf gleichem Niveau. Der Hersteller garantiert einen solaren Ertrag von 500 MWh/a, der mit Hilfe der Simulationsrechnungen als realistisch angesehen wird. Dies entspricht einem spezifischen Ertrag von 411 kWh/m<sup>2</sup>a bzw. einem Nutzungsgrad von 33,5 % im Kollektorkreis.

### **3 Messsystem**

Mit dem Messsystem sollen alle Energieströme, innerhalb des Gesamtsystems Solar-/Adsorptionskälteanlage und über die Systemgrenzen hinweg erfasst werden. Insbesondere wird, neben der Wärmemenge, die vom Kollektorfeld in die Speicher eingespeist und an das Heizungssystem abgegeben wird, auch die Wärme von Heizkesseln und Kompressoren erfasst. Wegen des „Nur-Wasser-System“ und der damit verbundenen Frostschutzschaltung, muss zusätzlich die Wärme, die aus dem Heizungssystem über die Pufferspeicher zum Kollektorfeld gepumpt wird, separat erfasst werden. An den Kältemaschinen werden die Wärmemengen jeweils im Heizungs-, Rückkühl- und Kaltwasserkreislauf jeder Kältemaschine gemessen.

Die differenzierte Erfassung des Stromverbrauchs der AdKMs, deren peripherer Pumpen sowie der Kühltürme soll Aufschluss über den elektrischen Energiebedarf der Maschinen liefern und eine Aufschlüsselung nach einzelnen Verbrauchern ermöglichen. Darüber hinaus wird die solare Einstrahlung auf das Kollektorfeld horizontal und in Kollektorebene, die Außen- und Kollektortemperatur und der Stromverbrauch der Pumpen, Ventile und des Solarreglers erfasst.

Durch dieses aufwändige Messsystem, wird eine umfassende Beurteilung des Anlagenbetriebs ermöglicht. Neben der Analyse hinsichtlich des Optimierungspotenzials sollen auch Störfallanalysen und die Ermittlung von Anlagenkenndaten wie Solarertrag, Nutzungsgrad, Deckungsanteil und solare Nutzwärmekosten möglich sein. Das Messsystem lässt ferner die Beurteilung des Gesamtsystems zu, so dass nicht nur innerhalb der Solaranlage Optimierungspotentiale erkannt werden können, sondern auch eine Feinabstimmung zwischen Solaranlage und AdKMs erfolgen kann. Abbildung 2 zeigt das Anlagenschema mit Mess- und Regelfühlern der Solaranlage.



## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Für die vorgestellte solare Klimatisierungsanlage mit Heizungsanbindung wird ein solarer Ertrag von ca. 540 MWh/a erwartet. Dies entspricht einem Nutzungsgrad des Solarsystems von ca. 35,5 % und einem spezifischen Ertrag von 443 kWh/(m<sup>2</sup>·a).

Würde die Solarwärme nur zum Betrieb der Kältemaschinen genutzt, wird ein solarer Ertrag von ca. 400 MWh/a vorhergesagt. Dies entspräche einem Nutzungsgrad von ca. 27% bzw. 328 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Der solare Deckungsanteil für den Kältemaschinenbetrieb entspricht ca. 12% des Wärmebedarfs der AdKMs.

In Zusammenarbeit mit der Forschungsgruppe Nachhaltige Energietechnik der Hochschule Offenburg, ergibt sich die Möglichkeit das gesamte Gebäude hinsichtlich des Energiebedarfs zu bewerten. Die Forschungsgruppe arbeitet im Rahmen des Forschungsverbundes zafh.net mit der HfT-Stuttgart in einem weiteren Projekt mit der Festo AG & Co. KG. Im Rahmen des Projektes „Simulationsgestützte Automation für die nachhaltige sommerliche Klimatisierung von Gebäuden“, wird der Gebäudebetrieb des Technologie-Centers am Standort Esslingen u.a. hinsichtlich des Kühlbetriebs untersucht.

Aktuell befindet sich die Solaranlage im Probetrieb. Mit der Erfassung des Kollektorertrags wurde bereits begonnen, sodass mit ersten Ergebnissen eines gesamten Messjahrs im Frühjahr 2009 gerechnet werden kann.

Die Solaranlage der Festo AG & Co. KG wird aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Rahmen des Förderprogramms Solarthermie2000plus unter dem Förderkennzeichen 0329605F zu 37,75 % gefördert.

### Literatur:

- [1] Bollin, E.; Himmelsbach, S.; Klingenberg U.; „Untersuchungen zum Steuer- und Regelverhalten von solaren Großanlagen im Projekt Solarthermie-2000“ 10. Symposium Thermische Solarenergie; Staffelstein; **2000**
- [2] Himmelsbach, S.; Bollin, E.; Klingenberg U.; „Solare Dusch- und Beckenwassererwärmung in der altherme Waldbrunn“; 13. Symposium Thermische Solarenergie; Staffelstein; **2003**
- [3] Klingenberg U.; Bollin, E.; Himmelsbach, S.; Teststand für Regler von solarthermischen Großanlagen; 14. Symposium Thermische Solarenergie; Staffelstein; **2004**
- [4] Klingenberg U.; Bollin, E.; Himmelsbach, S.; Energetische Amortisationszeiten bei solarthermischen Großanlagen; 15. Symposium Thermische Solarenergie; Staffelstein; **2005**
- [5] 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**