



Solare Kühlung im großen Stil

Begleitende Forschung zum ersten Intensivmessjahr der größten solar unterstützten Klimatisierungsanlage Europas

Das erste Intensivmessjahr der hinsichtlich Kälteleistung größten solaren Klimatisierungsanlage Europas wurde am 1. August dieses Jahres gestartet. 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. Bei diesem Projekt wurde die bereits bestehende Adsorptionskälteanlage, die bisher mit Gaskesseln und Kompressorenabwärme betrieben wurde, durch eine Solaranlage als dritte Wärmequelle ergänzt [1].

Das Solarsystem setzt sich aus einem Kollektorfeld mit 1.330 m² CPC-Vakuumröhrenkollektoren und zwei Pufferspeichern mit je 8,5 m³ Volumen 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 wurde die Solaranlage an die Bauteiltemperierung eines neuen Gebäudes angeschlossen, um außerhalb der Betriebszeiten der Kältemaschinen die Solarwärme optimal bei niedrigen Rücklauftemperaturen nutzen zu können.

Mit Hilfe von rund 80 Sensoren wird ein Detailmonitoring des Solar- und Kälteanlagenbetriebs durch die Hochschule Offenburg ermöglicht. Das Messsystem ermöglicht eine detaillierte Analyse des Anlagenbetriebs, unter anderem hinsichtlich des Optimierungspotenzials. Hierbei wurde 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 zu

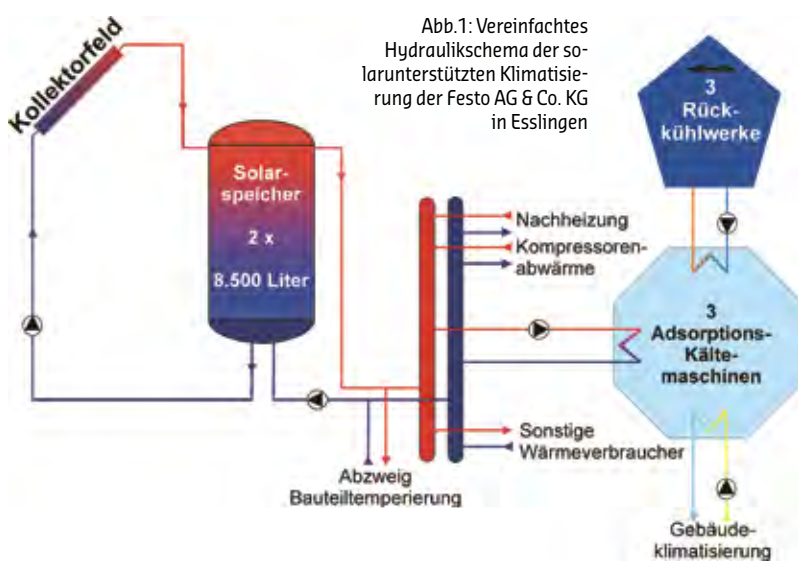


Abb.1: Vereinfachtes Hydraulikschema der solarunterstützten Klimatisierung der Festo AG & Co. KG in Esslingen

künftige Solaranlagen zur Kälteerzeugung noch effektiver zu planen, zu errichten und zu betreiben. Die solar unterstützte Klimatisierung soll in naher Zukunft auch aus wirtschaftlicher Sicht eine Alternative zum Einsatz konventioneller Kälteerzeugung mit Kompressionskältemaschinen darstellen.

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 seit einigen Jahren die momentan weltweit größte Adsorptionskälteanlage auf Silikagel/Wasser-Basis. Mit der erzeugten Kälte werden 26.760 m² Bürofläche sowie drei Atrien mit 2.790 m² Fläche gekühlt.



Kollektorfeld der solarunterstützten Klimatisierung der Festo AG & Co. KG in Esslingen, Fotos und Grafiken: Hochschule Offenburg

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 1330 m² CPC-Vakuurröhrenkollektoren – und damit das momentan weltweit größte Vakuurröhren-Kollektorfeld – hinzugefügt. Den begrenzenden Faktor bei der Auslegung der Kollektorfelds stellte hier die zur Verfügung stehende geeignete Dachfläche dar.

Zur Erhöhung des Coefficient Of Performance (COP: Verhältnis aus gewonnener Kälte- und Antriebswärmemenge) der Kältemaschinen wurde die Antriebstemperatur auf 70 °C erhöht. Wegen dieses hohen Temperaturniveaus und um einen höheren Deckungsanteil als mit Flachkollektoren erzielen zu können, wurde die Entscheidung zu Gunsten der Vakuurröhrenkollektoren gefällt. Die auf einem Sheddach installierten Kollektoren weichen in ihrer Ausrichtung um 18° von der Südrichtung nach Westen (Azimutwinkel 18°) ab und sind um 30° zur Horizontalen geneigt. Die technischen Daten der Anlage sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Durch die enge Anordnung des Sheddachs kommt es im Winter im unteren Bereich der Kollektoren zu Verschattungen (max. 20 % der Kollektorfläche). Der Einfluss der Verschattung auf den Ertrag wird allerdings als gering eingeschätzt und wurde bei der durch den Kollektorhersteller garantierten Jahreswärmemenge berücksichtigt.

Eine Besonderheit stellt bei dieser Anlage das „Nur-Wasser-System“ dar, bei dem im Kollektorkreis kein Frostschutzmittel eingesetzt 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 Vakuurröhrenkollektoren auftreten können, dazu sich zu zersetzen. Dadurch können sich die relativ feinen Flüssigkeitskanäle in den Vakuurröhren zusetzen. Teilstagnationen können durch eine

inhomogene Durchströmung des Kollektorfeldes entstehen, wodurch es zur lokalen Dampfbildung in den schlecht durchströmten Bereichen des Kollektorfeldes kommen kann.

Nachteil des direkten „Nur-Wasser-Systems“ ist die erforderliche Frostschutzschaltung zur Verhinderung des Einfrierens der Rohrleitungen im Freien. Um ein Einfrieren zu vermeiden wird bei Unterschreiten eines Temperaturschwellenwerts Wasser aus den Speichern zum Kollektorfeld gepumpt und durch gezielte Wärmezufuhr das Einfrieren in den Rohrleitungen im Freien verhindert.

Die gewonnene Solarwärme kann in zwei 8,5-m³-Behältern zwischengespeichert werden. Das Solarsystem ist über 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.

Tab. 1: Technische Daten der solaren Klimatisierungsanlage der Festo AG & CO. KG in Esslingen

Bruttokollektorfläche	1330 m ²
Aperturfläche	1218 m ²
Ausrichtung / Neigung	Süd +18°/ 30°
Solarspeichervolumen	2 x 8.500 l
Garantierter Solarertrag	500 MWh
Kompressorenabwärme	ca. 800 kW
Gebäudekühlung	3 Adsorptionskältemaschinen; Erdpfähle; Nachtauskühlung
Kältemaschinen	3 x 353 kW Nennkälteleistung
COP	0,6
Antriebstemperatur	70°C
Beheizte/gekühlte Gebäudefläche	27.000 m ²

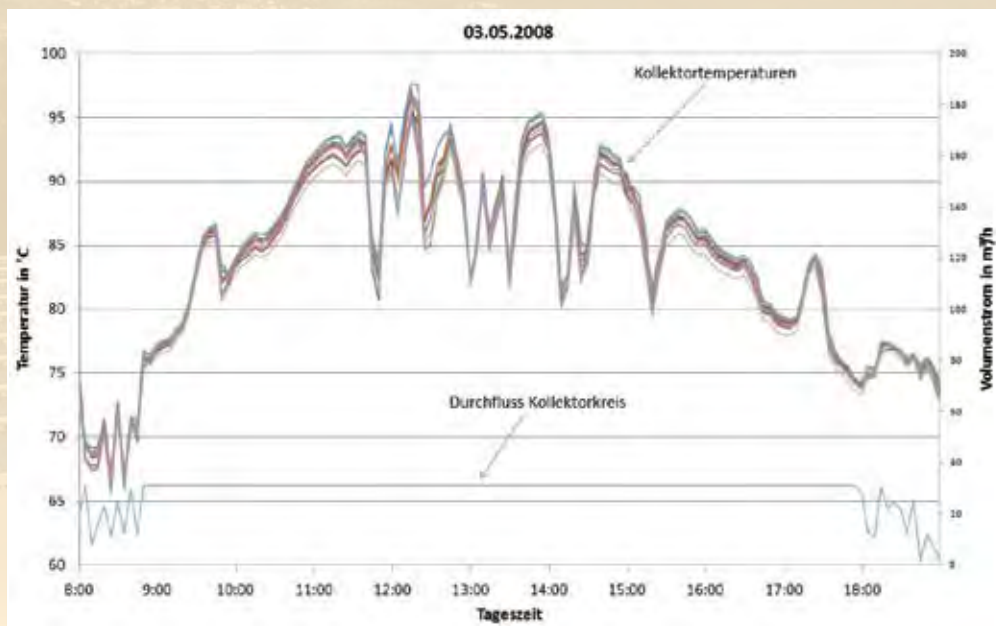


Abb.2: Kollektor-temperaturen und Volumenstrom im Kollektorkreis am 3. Mai 2008.

Im Winter kann die Solarwärme außerdem direkt auf Niedertemperaturniveau (>30 °C) über eine Betonkernaktivierung für die Gebäudeheizung genutzt werden.

Seitens des Betreibers wurde unter der Bedingung der ständigen Abnahme der gesamten von der Solaranlage gelieferten Wärme vom Kollektorhersteller eine Energiegarantie verlangt. Der Hersteller garantiert einen solaren Ertrag von 500 MWh/a die in die Solarspeicher eingespeist werden. Dies entspricht einem spezifischen Ertrag von 411 kWh/m²a bzw. einem Nutzungsgrad von 33,5 % im Kollektorkreis. Das Garantiemessjahr wurde am 1. Januar gestartet. Bereits Ende September war die garantierte Wärmemenge erreicht und dies trotz diverser Störungen bei der Speicherentladung und im Kollektorbetrieb (siehe „Erste Forschungsergebnisse“). Der Nutzungsgrad im Kollektorkreis konnte nicht berechnet werden, da zu Jahresbeginn die Messung der solaren Einstrahlung noch nicht zur Verfügung stand.

Erste Forschungsergebnisse

Während des Probetriebs wurden alle Anlagenkomponenten hinsichtlich ihrer Funktionsweise überprüft, um einen

regulären Anlagenbetrieb während der Intensivmessphase gewährleisten zu können. Insbesondere die Regelung und die Gleichmäßigkeit der Durchströmung des Kollektorfeldes wurden auf Störungen überprüft. Zur Überprüfung der Durchströmung des Kollektorfeldes wurden zehn Temperaturfühler, über das gesamte Kollektorfeld verteilt, eingebaut. Hierbei zeigte sich, dass die gemessenen Temperaturen bei Durchfluss im Kollektorfeld auf gleichem Niveau liegen. Zwischen der niedrigsten und höchsten Kollektortemperatur beträgt die Differenz im Schnitt ca. 1,5 K und maximal 2,5 K (Abbildung 2) bei einer Temperaturspreizung von durchschnittlich 14 K zwischen Kollektorvor- und -rücklauf. In Folge dessen kann davon ausgegangen werden, dass sich in den vermessenen Teilfeldern der Volumenstrom auf ungefähr gleichem Niveau bewegt.

Im Kollektorkreis wurden Fehlströmungen festgestellt, verursacht durch die Temperaturdifferenz zwischen Speicher und Kollektor. Diese führten zu hohen Wärmeverlusten über das Kollektorfeld. Ursache hierfür war eine Schwerkraftbremse mit zu geringer Federkraft, die diese Fehlströmungen nicht verhindern konnte. Seit Austausch der Schwerkraftbremse Ende April wurden keine Fehlströ-

Tab. 2: Messergebnisse der Sommermonate 2008 der solaren Klimatisierungsanlage der Festo AG & Co. KG in Esslingen

	Einheit	Juni	Juli	August
Einstrahlung auf gesamtes Kollektorfeld	MWh / kWh/m ²	199 / 163	202 / 166	190 / 156
In Speicher eingespeiste Wärmemenge	MWh / kWh/m ²	89 / 73	88 / 72	70 / 58
Aus Speichern entladene Wärmemenge	MWh / kWh/m ²	82 / 67	81 / 67	53 / 44
Systemnutzungsgrad	%	41	40	28
Wärmemenge von Gaskesseln	MWh	691	635	565
Wärmemenge von Kompressoren	MWh	90	182	239
Wärmemenge regenerativ	MWh	172	263	292
Wärmemenge gesamt	MWh	863	898	857
Deckungsanteil Solar	%	9,5	9,1	6,2
Deckungsanteil regenerativ	%	19,9	29,3	34,1
Wärmemenge an Kältemaschinen	MWh	747	769	725
Erzeugte Kälte	MWh	329	400	383
COP	-	0,44	0,52	0,53

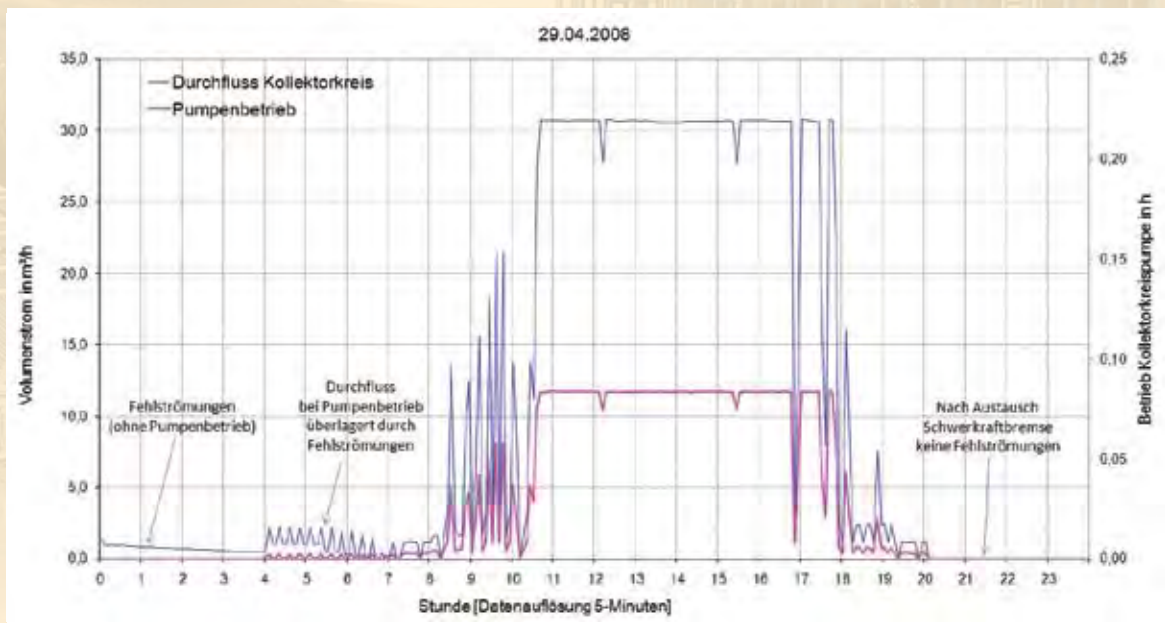


Abb.3: Volumenstrom im Kollektorkreis (VKT). Am 29.04.2008 wurde die zu schwach eingebaute Schwerkraftbremse durch eine stärkere ersetzt. Vorher sind nachts Fehlströmungen zu sehen.

mungen mehr festgestellt (Abbildung 3). Im Mai kam es, durch das Vertauschen von Temperaturfühlern, zu Betriebsstörungen am Regler, weshalb auch diese Messdaten nicht zur genaueren Betrachtung herangezogen werden können. Dementsprechend wird hier größtenteils nur auf Messdaten seit Juni 2008 zurückgegriffen, da die Erträge in den Monaten davor durch diese Fehler deutlich verfälscht wurden.

Im August kam es außerdem vor allem aufgrund einer Störung der Entladung der Solarspeicher nochmals an einigen Tagen zu Stillständen im Kollektorkreis wegen Überhitzung. Bei störungsfreiem Anlagenbetrieb hätte sehr wahrscheinlich ein etwas höherer Ertrag, als in Tabelle 2 angegeben, erzielt werden können.

In Tabelle 2 sind die Messergebnisse der Sommermonate Juni bis August aufgeführt. In diesen Monaten wurde fast die gesamte Wärme, abzüglich des Verlustes in Rohrleitungen und Verteiler, den Adsorptionskältemaschinen zugeführt. Der solare Ertrag lag in diesem Zeitraum bei insgesamt 217 MWh, was einem spezifischen Ertrag von 178 kWh/m² entspricht. Bei einer Einstrahlung von 591 MWh (485 kWh/m²) in Kollektorebene entspricht dies einem Systemnutzungsgrad von 37 %. Neben der Solarwärme wurden in diesem Zeitraum 1.891 MWh Wärme von den Heizkesseln und 510 MWh an Kompressorenabwärme in das Heizungssystem eingespeist. Damit ergibt sich für diesen Zeitraum ein solarer Deckungsanteil von 8 %. Ein höherer Deckungsanteil konnte aufgrund der begrenzt zur Verfügung stehenden Dachfläche nicht realisiert werden. Außerdem wurde der Ertrag durch einige Stillstände im Kollektorkreis im August geschmälert. Insgesamt ergibt sich zusammen mit der Kompressorenabwärme ein regenerativer Deckungsanteil von 28 %. Von den Adsorptionskältemaschinen wurde aus 2240 MWh Gesamtwärme, 1112 MWh Kälte erzeugt. Daraus ergibt sich für diesen Zeitraum ein COP von 0,5.

Zusammenfassung und Ausblick

Zur bestehenden Adsorptionskälteanlage wurde als dritte Wärmequelle eine Solaranlage mit 1330 m² Kollektorfläche installiert. Für die vorgestellte solare Klimatisierungsanlage mit Heizungsanbindung wurde der garantierte solare Jahresertrag von 500 MWh/a, trotz einiger Störungen, bereits Ende September erzielt. Im Sommer 2008 wurde ein solarer Deckungsanteil an der Gesamtwärme von 8 %

realisiert, bei einem solaren Systemnutzungsgrad von 37 %. Aufgrund der begrenzt zur Verfügung stehenden Dachfläche war eine großzügigere Auslegung des Kollektorfeldes nicht möglich. Insgesamt ergibt sich zusammen mit der Kompressorenabwärme ein regenerativer Deckungsanteil von 28 %.

Aktuell befindet sich die Anlage seit 1. Januar im Intensivmessbetrieb. Weitere Ergebnisse werden beim 19. Symposium Thermische Solarenergie im Mai kommenden Jahres in Bad Staffelstein vorgestellt.

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] Huber, K.; Bollin, E.; „Detailmonitoring einer solarthermischen Anlage zur Unterstützung der Kälteversorgung eines Büro- und Verwaltungsgebäudes“; 18. Symposium Thermische Solarenergie; Staffelstein; 2008



Prof. Elmar Bollin



Dipl.-Ing. (FH)
Klaus Huber

Hochschule Offenburg
Badstraße 24, 77652 Offenburg
Tel.: 0781 205 294, 0781 205 138
klaus.huber@fh-offenburg.de
www.fh-offenburg.de/mu/st2000