

Solare Kälteerzeugung mit Adsorptionskältemaschine

Von Hans-Martin Henning und Hendrik Glaser

Das Universitätsklinikum Freiburg hat während der vergangenen Jahre im Rahmen umfangreicher Maßnahmen zum Umweltschutz u.a. seine gesamte Kälteversorgung auf Techniken umgestellt, die ohne klassische Kältemittel arbeiten. In einem Laborgebäude, das nicht an das zentrale Kältenetz angeschlossen ist, wurde noch einen Schritt weiter gegangen und eine solar unterstützte Kälteversorgung installiert, mit der die Lüftungszentralen eines Laborgebäudes im Sommer mit Kaltwasser versorgt werden.

In der Heizperiode kann solar gewonnene Wärme ebenfalls genutzt und in die Luftvorwärmung eingekoppelt werden. Die zentralen Komponenten der Anlage sind eine Solaranlage mit einem Kollektorfeld von 170 m² Vakuumröhrenkollektoren sowie einer Adsorptionskältemaschine GBU NAK mit einer nominellen Leistung von 70 kW (siehe Abbildung 1). Der Absorber jeder einzelnen Kollektorröhre wurde um 45° in Südrichtung geneigt.

An den Kosten für die Investition sowie die wissenschaftliche Begleitung des Pilotvorhabens, die vom Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE durchgeführt wird, beteiligt sich das Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi) mit 50%. Einen weiteren finanziellen Zuschuss stellte die Firma Sulzer Infra/Baden (heute: Axima) zur Verfügung, welche die Anlage auch in Generalunternehmenshaftung hergestellt hat. Die erste Inbetriebnahme mit dem ursprünglichen Kollektorfeld in Größe von 90 m² war im Mai 1999, eine neuerliche Inbetriebnahme mit vergrößerter Solaranlage fand im April 2001 statt.

Beschreibung der Anlage

Die Solaranlage ist über einen Plattenwärmetauscher mit dem ersten Heizkreis verbunden (Abbildung 2). Dieser Heizkreis 1 wird über eine eigene, stufenlos regelbare Pumpe betrieben. Der Heizkreis 2 enthält die Zusatzwärmequelle, die mit Dampf aus dem Dampfnetz betrieben wird und treibt die Adsorptionskältemaschine an bzw. liefert direkt Wärme in den Lastkreis, der die Lüftungsanlage versorgt. Auch dieser Kreis enthält eine stufenlos regelbare Pumpe. Die beiden Heizkreise sind über eine hydraulische Weiche miteinander verbunden. Durch diese Verschaltung sind alle denkbaren Schaltungsvarianten auf der Wärmebereitstellungsseite möglich.



Abbildung 1: Adsorptionskältemaschine GBU NAK, Nennkälteleistung 70 kW

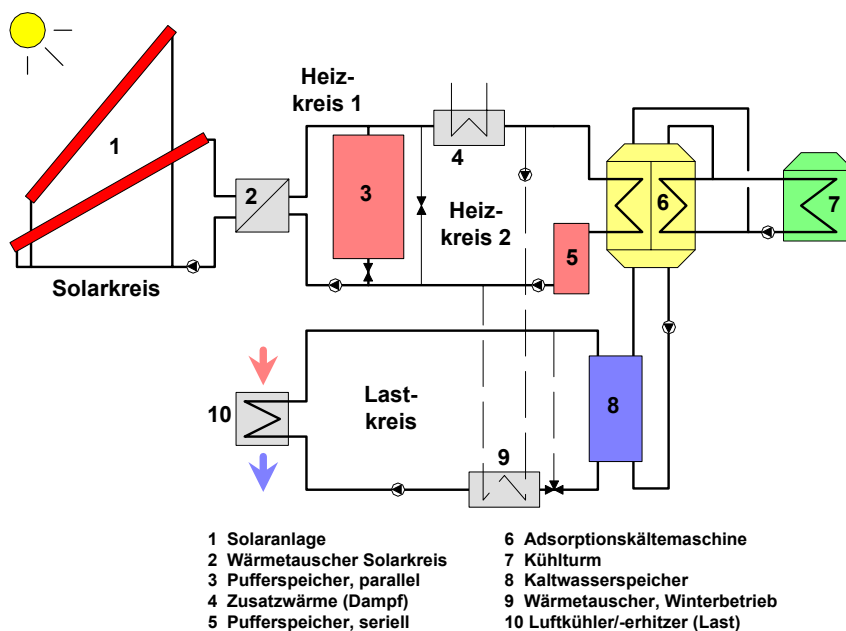


Abbildung 2: Hydraulisches Schema der Anlage am Universitätsklinikum Freiburg

Betriebsergebnisse

Die Solaranlage trägt an sonnigen Tagen einen wesentlichen Anteil zur benötigten Antriebswärme der Adsorptionskältemaschine bei. Abbildung 3 zeigt den Tagesverlauf der Leistungen an einem Sommertag. Es wird deutlich, dass rund um die Mittagszeit (zwischen 11 und 15 Uhr) die Solarwärme die benötigte Antriebswärme übersteigt. Davor und danach muss zusätzlich Wärme von der Nachheizung geliefert werden. Insgesamt beträgt die gelieferte Solarwärme rund 78% der benötigten Antriebswärme, der solare Deckungsbeitrag ist wegen der thermischen Verluste im System allerdings niedriger.

Ein weiteres Ergebnis der Messungen ist, dass die Adsorptionskältemaschine nicht das vom Hersteller angegebene Wärmeverhältnis aus gelieferter Kälte und dazu benötigter Antriebswärme (COP= Coefficient of Performance) liefert. Für den dargestellten Tag liegt der mittlere COP bei knapp 40%. Damit liegt er um rund ein Drittel niedriger als vom Hersteller für die gegebenen Temperaturbedingungen (Heizwasser, Rückkühlung, Kaltwasser) angegeben. Dies schränkt den erreichbaren solaren Deckungsanteil erheblich ein, da für eine gegebene, geforderte Kälteleistung deutlich mehr Wärme benötigt wird, als ursprünglich geplant. Vom Lieferanten wird derzeit eine Nachbesserung gefordert.

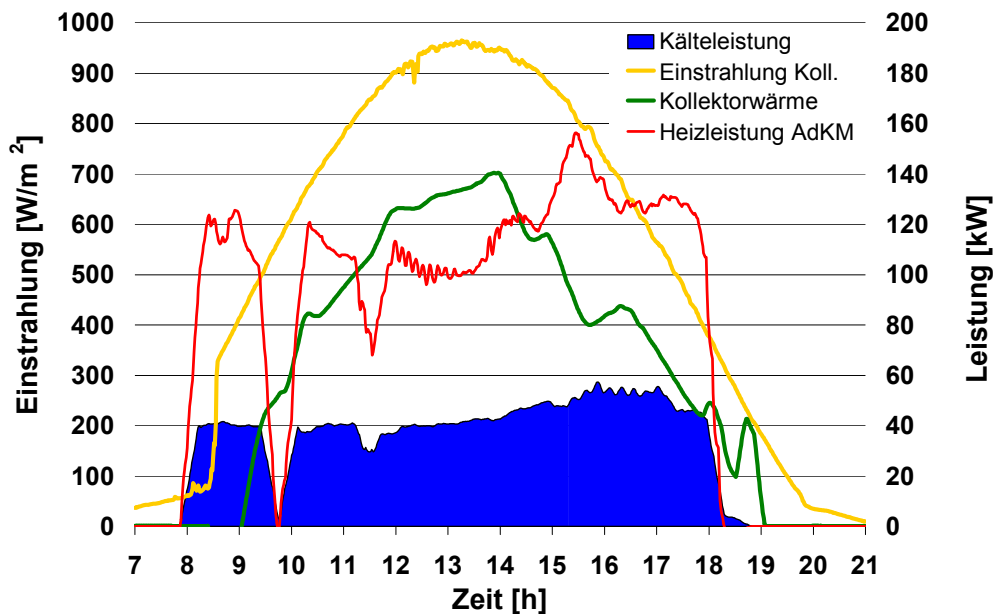


Abbildung 3: Verlauf von Kälteleistung und Wärmeleistungen bzw. Einstrahlung in Kollektorebene an einem Sommertag (26. Juni 2001)

Änderungen in der Anlagentechnik

Nach Inbetriebnahme wurden weitere verschiedene Nachteile sowohl in der hydraulischen Verschaltung als auch in der Regelung identifiziert und die Anlage entsprechend verändert. Diese Hinweise können als allgemeine Regeln für die solare Kälteerzeugung mit Adsorptionskältetechnik gelten.

Die Adsorptionskältemaschine arbeitet periodisch, d.h. jede der Adsorberkammern wird einmal pro Zyklus von Adsorption auf Desorption umgeschaltet /1/, /2/, /3/. Bei der Adsorption wird die entsprechende Kammer gekühlt, die Temperatur im Wärmetauscher beträgt ca. 30°C. Bei der Desorption wird der im Silikagel gebundene Wasserdampf ausgetrieben, die Temperatur liegt zwischen 60°C und 90°C. Jeweils beim Umschalten von Adsorption auf Desorption tritt im Rücklauf des Heizkreises 2 eine kurzzeitige, stark ausgeprägte Temperaturspitze auf, die regelungstechnisch Probleme macht und kurzzeitig Wärme in den Solarkreis übertragen kann. Um diese Temperaturspitze zu dämpfen wurde einer der vier wärmeispeichernden Pufferspeicher (je 2 m³) seriell in den heißwasserseitigen Rücklauf der Adsorptionskältemaschine eingebunden (Komponente 5 in Abbildung 2).

Die Regelung muss ausschließen, dass die Pufferspeicher durch den Rücklauf der Kältemaschine geladen werden. Speicherladung darf nur durch den Solarkollektor erfolgen, wenn mehr Solarwärme bereit steht, als aktuell zum Antrieb der Kältemaschine bzw. zur Luftvorwärmung im Winter erforderlich ist.

Der Einbau eines Kaltwasser-Pufferspeichers ist ebenfalls sinnvoll (hier 2 m³), um die Kaltwassertemperaturschwankungen, die sich im Verlauf eines Zyklus ergeben, zu dämpfen und die Regelung lastseitig zu erleichtern.

Es erweist sich als sinnvoll, die Kältemaschine zunächst mit niedriger Antriebstemperatur zu betreiben. In Abbildung 4 sind die Wirkungsgradkennlinie des verwendeten Kollektors und der COP der Adsorptionskältemaschine sowie das Produkt aus beiden Größen, COP_{sol}, dargestellt. Die COP-Kurve beruht auf Herstellerangaben. Es zeigt sich, dass der Gesamtwirkungsgrad COP_{sol} bei gegebenen Bedingungen bei ca. 71°C ein Maximum aufweist. Die Maschine liefert bei dieser Antriebstemperatur allerdings entsprechend der Herstellerunterlagen nur eine Kälteleistung von 54 kW, d.h. rund 77% der Nennleistung. Die Anlage wird deshalb so geregelt, dass zunächst mit einer heizseitigen Vorlauftemperatur von 70°C begonnen wird und bei nicht ausreichender Kälteleistung die Vorlauftemperatur bis max. 85°C erhöht wird.

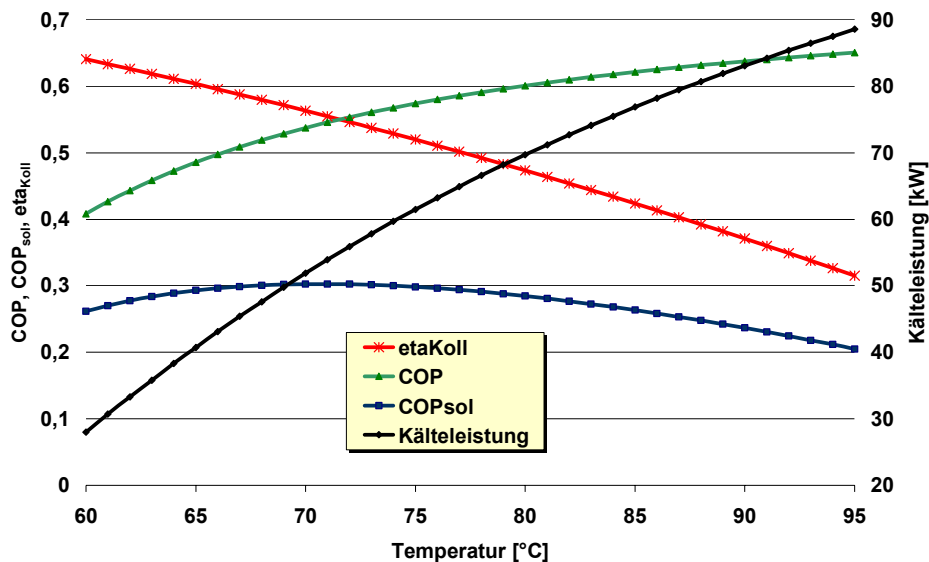


Abbildung 4: Kollektorwirkungsgrad, COP, Gesamtwirkungsgrad COP_{sol} und Kälteleistung als Funktion der Betriebstemperatur (Einstrahlung 800 W/m^2 , Umgebungstemperatur 25°C , Vorlauftemperatur Kühlwasser 30°C , Kaltwassertemperatur 10°C)

Die nach der Auslegung erwarteten Wärmeerträge der Solaranlage werden erreicht. Die vergrößerte Kollektorfläche mit rund $2,4 \text{ m}^2$ Absorber pro kW Nenn-Kälteleistung erlaubt einen vernünftigen solaren Deckungsbeitrag bei zugleich ausreichendem Kollektorertrag.

Die Teillastregelung der Kältemaschine kann verbessert werden, indem mit einer variablen Periodenlänge für das Umschalten zwischen Adsorption und Desorption gearbeitet wird. Standardmäßig schaltet die Maschine ca. alle sechseinhalb Minuten um. Bei kleiner benötigter Kälteleistung sollte diese Zeit erhöht werden. Dadurch wird das Sorptionspotenzial des Silikagels in den Kammern besser ausgenutzt und der COP erhöht sich. Eine solche Umstellung der Regelung wird in der Anlage in Freiburg für die kommende Kühlsaison implementiert.

Literatur

- /1/ Prospekt der Fa. GBU, Bensheim
- /2/ Hans-Martin Henning: Aktive solarthermische Systeme für die Gebäudeklimatisierung. in: Thermische Solarenergienutzung an Gebäuden (Hrsg. Marko/Braun), Springer-Verlag 1997
- /3/ Hans-Martin Henning, Carsten Hindenburg: Sonnenenergie für die Gebäudeklimatisierung. Sonnenenergie 1/99, 1999
- /4/ Katja Scheuble: Modellierung und messtechnische Bewertung einer Adsorptionskältemaschine in einer solarthermisch unterstützten Kälteanlage. Diplomarbeit Fachhochschule Furtwangen und Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg, 3/2001

Autoren:

Dr. Hans-Martin Henning leitet am Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE die Gruppe 'Thermische Anlagen und Komponenten'. www.ise.fhg.de

Dipl.-Ing. Hendrik Glaser ist Abteilungsleiter für Energie-, Medienversorgung und Umwelttechnik am Universitätsklinikum Freiburg

Dieser Artikel wurde in der **erneuerbaren energie 2002-2** publiziert. Die Zeitschrift ist die Mitgliederzeitung der Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE – Dachverband und erscheint viermal jährlich. Internet: www.aee.at