
BETRIEBSERFAHRUNGEN UND VERGLEICH VON 3 SOLAREN ABSORPTIONSKÜHLANLAGEN IN OBERÖSTERREICH

Dipl. Ing. Hilbert Focke, Ing. Reinhard Hofstätter
ASiC – Austria Solar Innovation Center
Roseggerstrasse 12, A-4600 Wels
Tel.: +43 7242 / 9396 5563, Fax: +43-7242 / 9396 49 5560
E-Mail: focke.hilbert@asic.at

1 Anlage 1: Bürogebäude Bezirkshauptmannschaft Rohrbach

1.1 Anlagenbeschreibung

Das Bürogebäude der Bezirkshauptmannschaft Rohrbach verfügt über eine Bruttonutzfläche von rund 5.000 m². Der berechnete Kältebedarf des Objektes beträgt 123 kW (86 kW für die Hauptlüftung, 11 kW für den Sitzungssaal und 44 kW für Fan-Coils in den Büros).

Die 120 m² große thermische Solaranlage wird im Sommer zur Erzeugung der Antriebsenergie der 30 kW Absorptionskältemaschine und im Winter zur Heizungsunterstützung eingesetzt (Maximierung solarer Gewinne). Der Warmwasserbedarf ist hingegen gering und wird ausschließlich von Untertischspeichern abgedeckt. Die Absorptionskältemaschine unterstützt die wesentlich größere Kompressionskältemaschine und wird in den Rücklauf des Kaltwasserkreises eingebunden. Somit können geringe Kühllasten von der Absorptionsmaschine alleine gedeckt werden. Bei hohem Kühlbedarf treten zumindest eine Entlastung der Kompressionsmaschine und eine Einsparung von elektrischer Energie ein.

Die Heiz- und Kühlenergieverteilung im Gebäude wird über zentrale Zuluftwärmetauscher und Fan-Coils bewerkstelligt. Zur generellen Kühllastvermeidung kommen ein außen liegender Sonnenschutz und eine Sonnenschutzverglasung zum Einsatz.



Abbildung 1 – links: Außenansicht Bezirkshauptmannschaft Rohrbach; rechts: Absorptionskältemaschine mit 30 kW Kälteleistung

1.2 Monitoring

Zur Überwachung der Anlage und um alle Betriebszustände nachzuvollziehen, wurde ein Monitoringsystem installiert. Die Daten können internetbasiert standortunabhängig abgefragt werden.

Durch die Vermessung der dort vorhandenen großen elektrisch betriebenen Kältemaschine werden auch dringend benötigte aktuelle Daten bezüglich erreichbarer Arbeitszahlen mit konventioneller Kompressionstechnik geliefert. Die genaue Ermittlung der Primärenergieeinsparung am selben Objekt wird somit ermöglicht. Die Messtechnik der BH Rohrbach wurde im Rahmen der Anlageneerichtung vom Land OÖ mitfinanziert, bei der Auswertung der Ergebnisse ist auch das Planungsbüro noch miteingebunden.

Die BH Rohrbach ist mit einer Gebäudeleittechnik (GLT) ausgestattet, welche alle regelungstechnisch relevanten Parameter in einer Datenbank ablegt. Die für das Monitoring notwendigen Werte der Energiezähler werden ebenfalls in diese Datenbank gespeichert. Die Messtechnik und die Datenaufzeichnung wurden anhand der Vorgaben des IEA Task 38-Level 3 ergänzt. Darüberhinaus wurde auch der Rückkühlkreis mit Messtechnik ausgestattet.

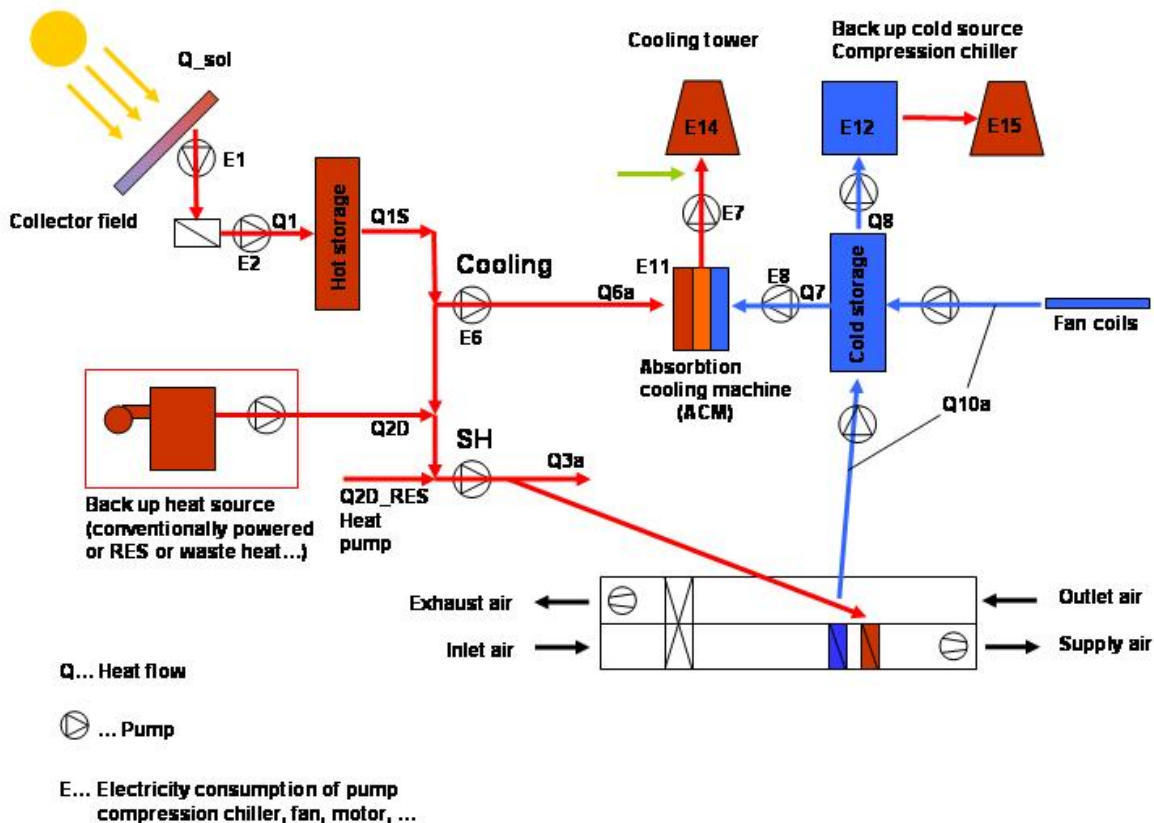


Abbildung 2: Monitoringschema BH Rohrbach nach IEA Task 38-Level 3

1.3 Ergebnisse und Erkenntnisse

Das Bürogebäude wurde im Jahr 2007 errichtet und 2008 bezogen. Eine zufriedenstellende Funktion des solaren Kühlsystems konnte aber erst im Sommer 2010 erreicht werden. Die Inbetriebnahmephase dauerte also fast 2 Jahre! Eine Möglichkeit zur Sicherstellung einer kürzeren Inbetriebnahme- und Abnahmephase wäre eine temporäre konventionelle Versorgung der Absorptionskältemaschine mit Heißwasser vorzusehen. So könnte ein Testbetrieb auch ohne Sonneneinstrahlung gewährleistet werden.

Ein weiterer wichtiger Punkt war die vorgenommene Änderung in der internen Regelung der Kältemaschine bezüglich Heißwasserpumpe. Die Pumpe wird über die Gebäudeleittechnik, erst nach Freigabe der Absorptionskältemaschine freigegeben. Vor dieser Maßnahme verursachte die Gebäudeleittechnik einen Schaden an der Lösungsmittelpumpe der Absorptionskältemaschine. Außerdem wurde die in der internen Regelung der Kältemaschine vorgesehene Sicherheitsabschaltung bei Kühlwassertemperaturen $< 18^{\circ}\text{C}$ deaktiviert. Diese Sicherheitsabschaltung wurde ebenfalls an die Gebäudeleittechnik übertragen, welche nun diese Maßnahme erst nach einer Mindestlaufzeit von 10 Minuten setzt. Dadurch wird ein Starten der Kältemaschine auch bei Temperaturen $< 18^{\circ}\text{C}$ in der im Keller liegenden Kältezentrale gewährleistet.

Ein weiterer Fehler in der Anlagenhydraulik wurde durch die Berechnung der Primärenergiekennzahl für ein Referenzsystem (ohne Solaranlage) im Heizbetrieb aufgedeckt. Durch den Einbau eines zusätzlichen Motorventils wird nun eine Fehlströmung verhindert und der ordnungsgemäße Betrieb zur Heizungsunterstützung sichergestellt.

Abbildung 3 zeigt die Aufbringung der Heiz- und Kühlenergie sowie den solaren Deckungsanteil, nach erfolgter Optimierung, im Jahr 2011.

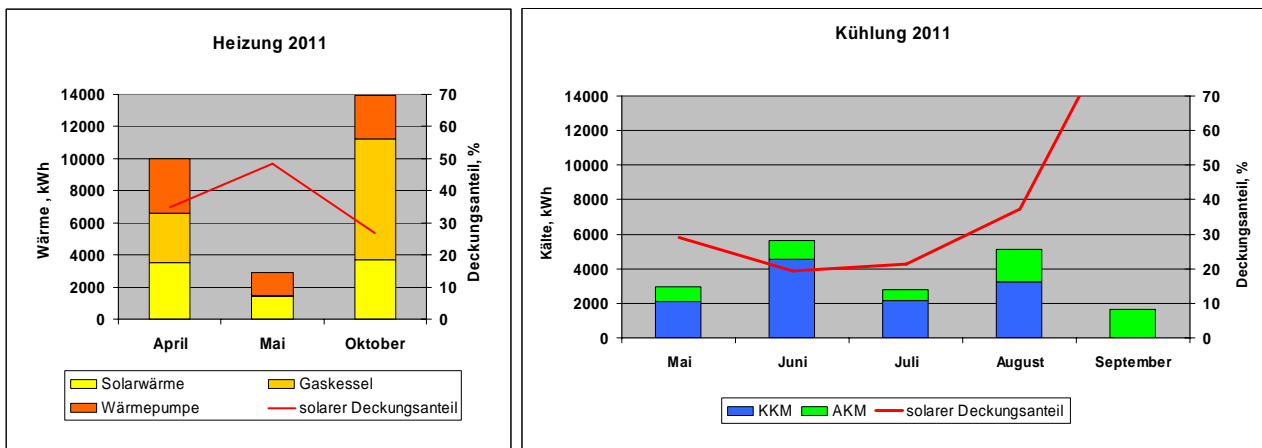


Abbildung 3: Energiebilanz und solarer Deckungsanteil für Heiz- und Kühlbetrieb im Jahr 2011

Abbildung 4 zeigt die elektrischen Arbeitsszahlen des solaren Kühlsystems, des Kompressionskühlsystems und die solaren Deckungsanteile im Sommer 2011. Dank des Engagements des örtlichen Haustechnikers konnten durch manuelles Deaktivieren des Kompressors Tage mit hohen solaren Deckungsanteilen ohne Komfortverlust für die Personen im Gebäude realisiert werden.

Die Unterschiede zwischen den Tages- und Monatswerten bei der elektrischen Arbeitsszahl des solaren Kühlsystems sind auf den hohen Standbyverbrauch der Absorptionskältemaschine zurückzuführen. Die Abbildung zeigt aber auch, dass die Arbeitsszahl des Kompressionskältesystems durchwegs bei Werten nur um die 2,5 liegt.

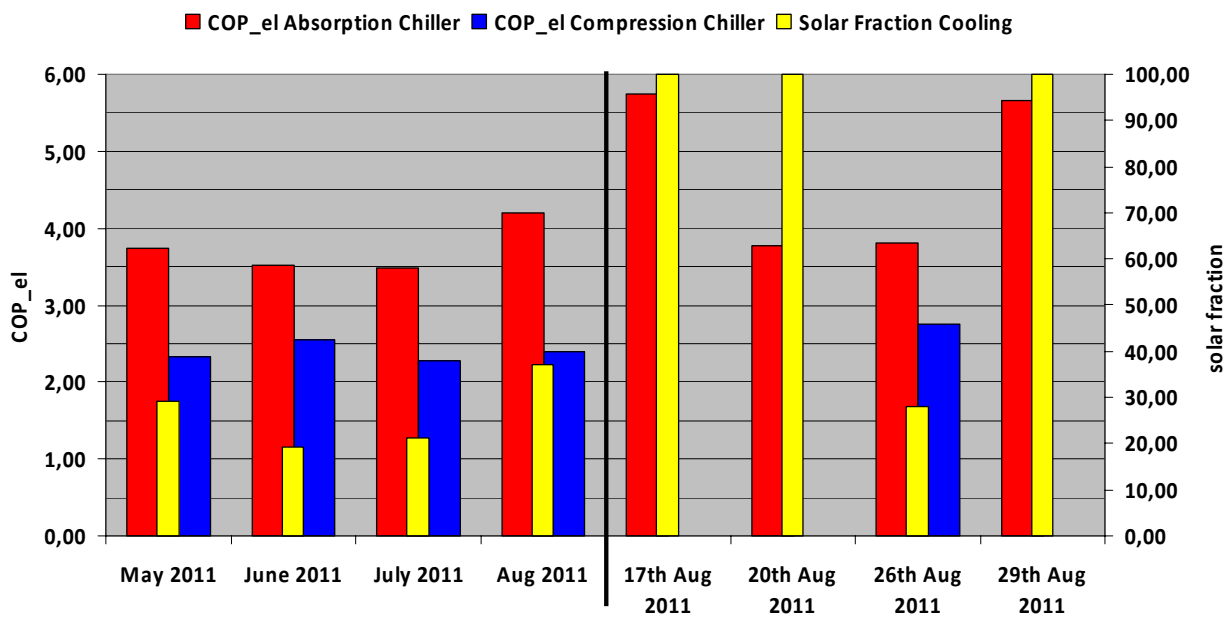


Abbildung 4: Sommer 2011, elektrische Arbeitsszahlen und solarer Deckungsanteil

Eine detaillierte Analyse aller Stromverbraucher entlarvt die Pumpe des Rückkühlkreises als größten Verbraucher. Abbildung 5 zeigt, dass diese Pumpe 68% der elektrischen Hilfsenergie verbraucht. Die Pumpe wurde bereits in der Planungsphase falsch dimensioniert. Eine nähere Analyse der Druckverluste im System zeigte allerdings auch, dass, wahrscheinlich durch Verschmutzungen im offenen Kühlturm, der Druckverlust in der Absorptionskältemaschine 3-fach überhöht ist.

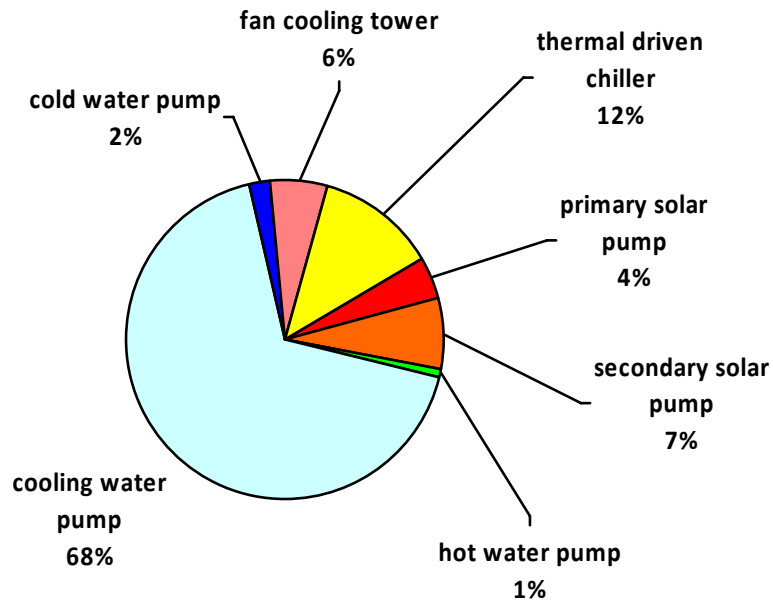


Abbildung 5: Aufteilung des Hilfsstromverbrauchs des solaren Kühlsystems, Anlage 1

Die Beseitigung des hohen Druckverlusts in der Absorptionskältemaschine, der Einsatz einer korrekt dimensionierten Pumpe im Rückkühlkreis und die Verringerung des Standbyverbrauches der Absorptionskältemaschine lassen, wie Simulationen zeigen, die monatliche elektrische Arbeitszahl des solaren Kühlsystems in der Bezirkshauptmannschaft Rohrbach auf bis zu 8 steigen.

2 Anlage 2: Passivhaus- Industriebau Sunmaster/ Xolar

2.1 Anlagenbeschreibung

Der Kollektorproduzent Sunmaster hat im Jahr 2008 einen Passivhaus- Industriebau (Produktionsbetrieb, Warenlager und Büros) mit einer Gesamtfläche von 18.000 m² errichtet. Rund 3.000 m² davon werden als Büroräumlichkeiten genutzt.

Die insgesamt fast 1.000 m² thermischen Solarkollektoren wirken als Energiequelle und gleichzeitig als Verschattungselemente. Als Energiezentrale dient ein 85m³ großer Wasserspeicher. Zusätzlich wird das unter dem Gebäude liegende Erdreich als Langzeitwärmespeicher verwendet.

Zur Kühlung der Büros und der Laserschweißanlagen wird eine 80 kW-Absorptionskältemaschine betrieben. Als Backup steht ein 35 kW Kaltwassersatz zur Verfügung. Weil die Kälte im Produktionsprozess das ganze Jahr über benötigt wird, soll die Absorptionskältemaschine so lange wie möglich betrieben werden. Als Langzeit-Kältespeicher kann auch das Löschwasserbecken verwendet werden.

Die Abwärme der Absorptionskältemaschine wird in den Erdspeicher abgegeben bzw. über einen Kühlturm abgeführt bzw. zu Heizzwecken in den Fußbodenheizkreisen verwertet (Energiekaskade). Das gesamte Objekt verfügt über eine zentrale Gebäudeleittechnik die auch umfassende Funktionen zur Datenaufzeichnung bietet.



Abbildung 6: Außenansicht Passivhaus Industriebau Sunmaster/ Xolar
(Quelle: Sunmaster)

2.2 Monitoring

Die solare Kühlanlage der Fa. Sunmaster befindet sich bereits seit dem Frühling 2009 in Betrieb. Die relevanten Daten für die thermischen Energien wurden dabei bereits seit Beginn mittels der Gebäudeleittechnik protokolliert. Auch die Werte aller im System vorhandener Temperaturfühler und Einstrahlungssensoren werden mit Intervallen < 1 Minute aufgezeichnet.

Die Messtechnik und Datenaufzeichnung genügte auf der thermischen Seite den Vorgaben der IEA Task 38, die Zähler für elektrische Energien mussten nachgerüstet werden.

Wegen der Größe und Komplexität der Anlage wurden von Beginn an Routinen erstellt, welche die einfache Ausgabe der relevanten Kennwerte erlaubt. Im Bereich der solaren Kühlung werden daher folgende Daten automatisiert ausgewertet und visualisiert:

- Elektrische Momentanleistung aller an der solaren Kühlung beteiligten Aggregate
- Thermische Momentanleistung aller an der solaren Kühlung beteiligten Aggregate
- Thermischer COP
- Elektrischer COP

Zusätzlich wurden alle internen Signale, Füllstandssensoren und Ventilstellungen der Absorptionskältemaschine über die GLT eingebunden, werden visualisiert und stehen zur Auswertung zur Verfügung. Außerdem erfolgt eine automatische Generierung von Datensätzen in der alle Tagessummen der relevanten Energiezähler gespeichert werden, was die Auswertung gemäß Task 38 erheblich vereinfacht. Alle weiteren Datenpunkte werden in einer SQL Datenbank abgelegt.

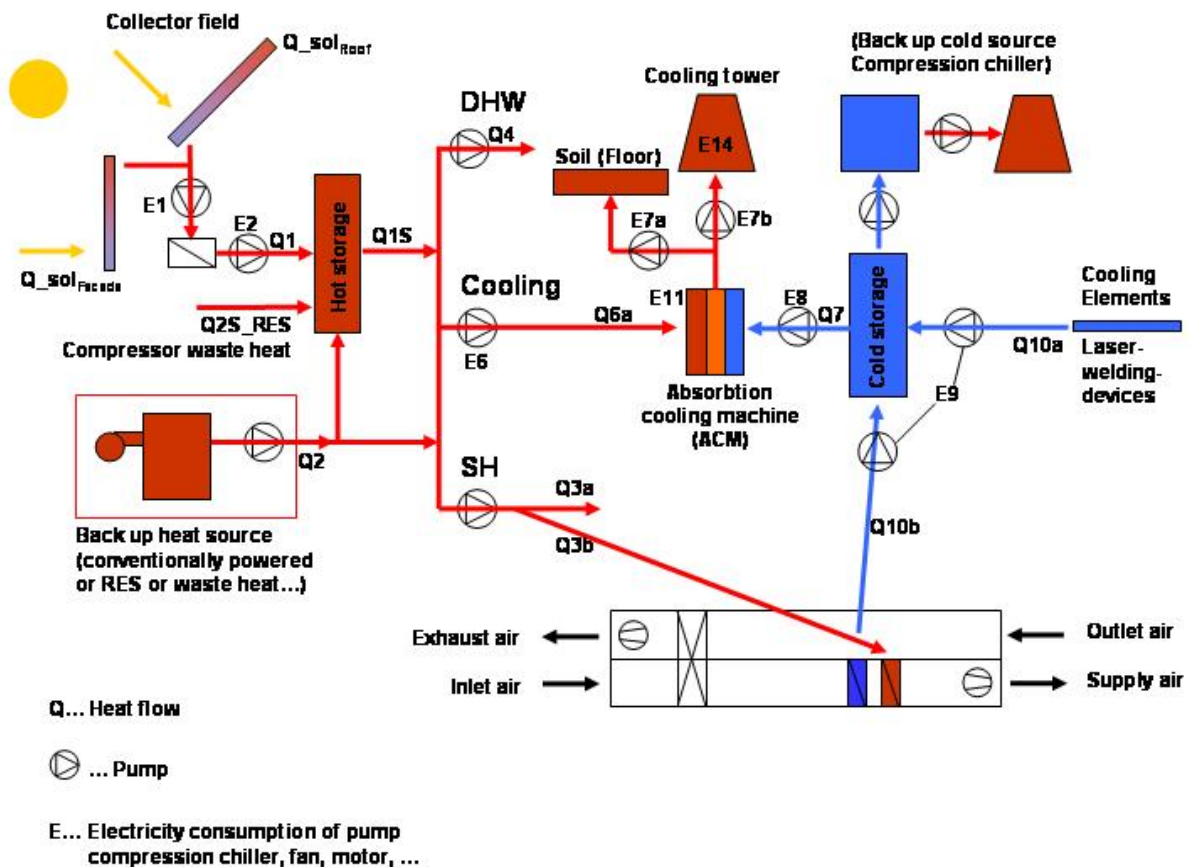


Abbildung 7: Monitoringschema Sunmaster/ Xolar nach IEA Task 38-Level 3

2.3 Ergebnisse und Erkenntnisse

Die Anlage wurde Schritt für Schritt, zu großen Teilen durch den Betreiber selbst in Betrieb genommen. Um die Solarenergie optimal einsetzen und speichern zu können wurde allerdings ein sehr umfangreiches hydraulisches System geschaffen. Beispielsweise ist es möglich den Erdreichwärmetauscher auch im Sommer direkt zu beladen um Stagnation in der solarthermischen Anlage zu vermeiden. Außerdem kann das Feuerlöschbecken als Kältespeicher verwendet werden, um extreme Hitzeperioden zu überbrücken. Darüberhinaus ist das Kollektorfeld für reine Kühlzwecke überdimensioniert, was aber mit dem Gebäudeenergiekonzept (saisonale Speicherung von Solarenergie) begründet werden kann.

Abbildung 8 zeigt das Energiekonzept des Gebäudes im Sommerbetrieb (Beladung des Erdspeichers durch die Bürokühlung) und Winterbetrieb (Entladung des Erdspeichers). Das Konzept garantiert minimale Jahresenergiekosten.

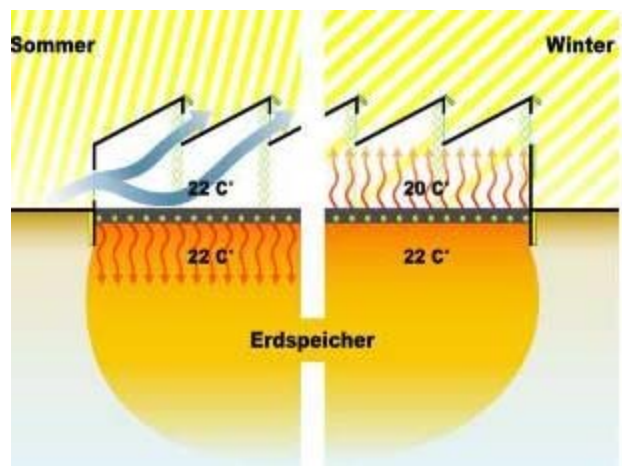


Abbildung 8: Energiekonzept Passivhaus Industriebau Sunmaster/ Xolar
(Quelle: Sunmaster)

Die Betriebsart des Systems wird im Sommerbetrieb, unter Berücksichtigung von Wetterprognose und Gebäudebelegung oft manuell vorgegeben. Aufgrund der Tatsache, dass die Wärmemengenzähler nicht in beiden Durchströmungsrichtungen Daten liefern, war die exakte Datenauswertung des Gesamtsystems schwierig, es wurde ein Schwerpunkt auf die Kälteerzeugung mittels solar betriebener Absorptionskältemaschine gelegt.

Abbildung 9 zeigt die Aufteilung des Verbrauches an elektrischer Hilfsenergie, und unterstreicht den Vorteil der Rückkühlung über die Erdreichwärmetauscher (Hallenfußboden). Der hohe Eigenverbrauch der Absorptionskältemaschine (45%) liegt darin begründet, dass die Komponenten der Maschine täglich evakuiert werden, was zu einem Verlust an Kältemittel (Wasser) führt, und verfahrenstechnisch eigentlich nicht notwendig ist. Aus dem Kältemittelverlust resultieren die niedrigen thermischen Leistungszahlen, weil die Maschine zu Takten beginnt. In Absprache mit dem Hersteller der Absorptionskältemaschine sind hier noch Optimierungsschritte zu setzen.

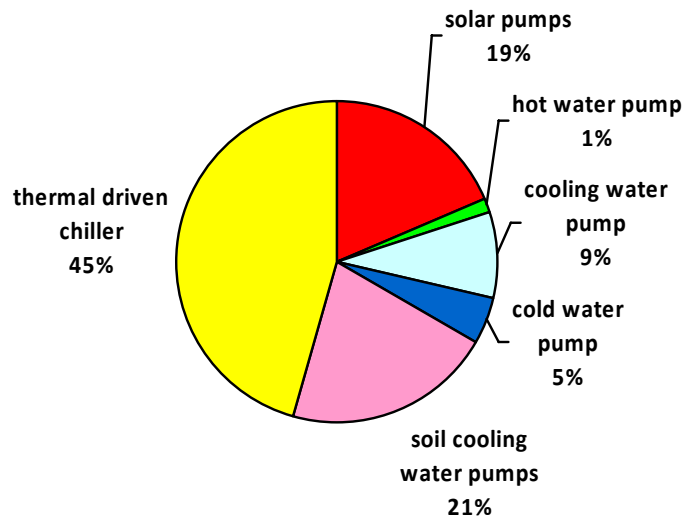


Abbildung 9: Aufteilung des Hilfsstromverbrauchs des solaren Kühlsystems, Anlage 2

In Abbildung 10 ist die elektrische Arbeitszahl des gesamten solaren Kühlsystems und die thermische Arbeitszahl der Absorptionskältemaschine im Sommer 2011 ersichtlich. Die Anlage arbeitete im Kühlbetrieb mit 100% solarer Deckung.

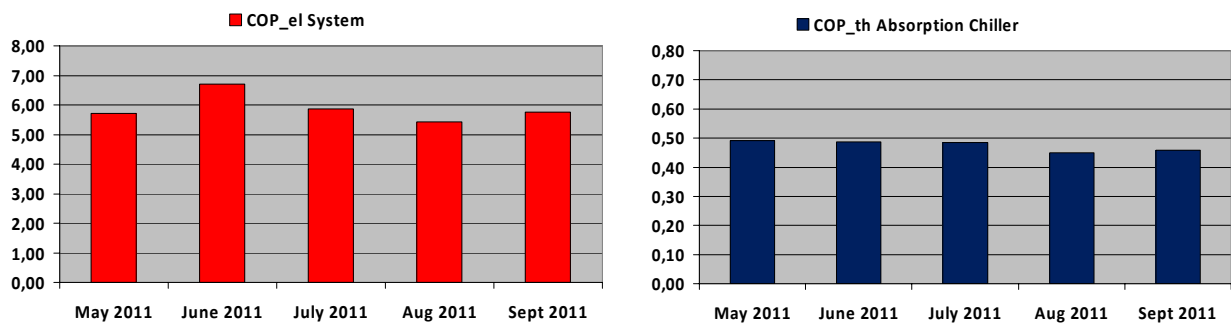


Abbildung 10-links: Elektrische Arbeitszahl des Gesamtsystem; rechts: Thermische Arbeitszahl der Absorptionskältemaschine, Anlage 2

3 Anlage 3: Europazentrale Gasokol

3.1 Anlagenbeschreibung

Der Kollektorproduzent Gasokol GmbH betreibt in seiner Europazentrale in Sachsen eine Absorptionsanlage mit 30 kW Kälteleistung. 85 m² Flachkollektoren liefern die notwendige Antriebsenergie in einen 9.000 Liter fassenden Pufferspeicher, die Rückkühlung erfolgt über ein offenes, feuchtes Rückkühlwerk. Das ganze Gebäude ist in Niedrigstenergiebauweise mit verlustfreien Wänden im Bürotrakt mit mittleren U-Werten von unter 0,1 W/m²K ausgeführt. Die in der wärmegeprägten monolithischen Bodenplatte integrierte Industriebodenheizung kann im Sommer auch zur Kühlung verwendet werden.

Die Solaranlage deckt nahezu 100% des Warmwasserbedarfs des Gebäudes und wird außerdem zur Heizungsunterstützung im Büro und Halle herangezogen. In den Sommermonaten kann das Gebäude über aktivierte Betonkernkühldecken gekühlt werden wobei das entsprechende Kaltwasser mit der Absorptionskältemaschine erzeugt wird. Die Solaranlage liefert die für den Austreiber notwendige Prozesswärme. Bei eventuell auftretenden Spitzenzeiten wird die Heizanlage durch die Nahwärmeversorgung, einer örtlichen Biomasseanlage in Sachsen, unterstützt.



Abbildung 11: Europazentrale Gasokol (Quelle: Gasokol)

3.2 Monitoring

Die solare Kühlanlage der Firma Gasokol befindet sich bereits seit dem Jahr 2009 in Betrieb. Bei der Nachrüstung der Messtechnik wurde aus Kostengründen auf ein selbstständiges Monitoringsystem verzichtet. Stattdessen wurde die vorhandene Regelungstechnik um 2 Wärmemengenzähler, einen Speicher- und Datenerfassungsbaustein vom Hersteller der Regler und um 6 Zähler für die elektrischen Energien erweitert. Bereits vorhandene Volumenstromgeber, Temperatur- und Einstrahlungsfühler konnten weiter verwendet werden. Die beiden Primärkreispumpen der Solaranlage werden dabei gemeinsam mit der Sekundärkreispumpe von einem gemeinsamen Stromzähler erfasst. Wärmemengen für Heizung und Warmwasserbereitung werden nicht gezählt, ebenso wie die Kältemenge auf der Verbraucherseite (nach dem Kältespeicher).

Hauptziel dabei sollte eine Überwachung der Anlage vor Ort sein. Die im Zeitintervall von 5 Minuten gespeicherten Datensätze wurden aber noch zusätzlich ausgewertet und analysiert.

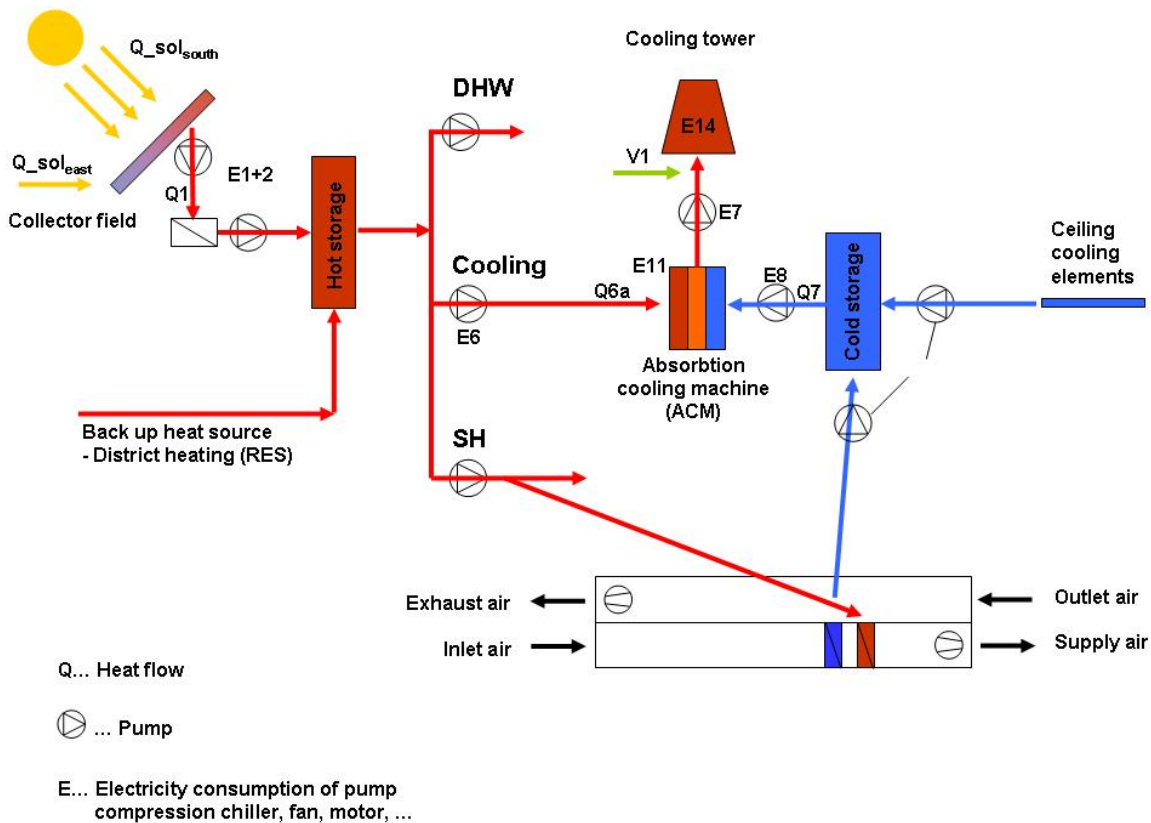


Abbildung 12: Monitoringschema Gasokol nach IEA Task 38-Level 3

3.3 Ergebnisse und Erkenntnisse

Die Anlage arbeitet seit dem Sommer 2009 weitgehend störungsfrei und deckt den Kühlbedarf des Gebäudes zu 100% aus Solarenergie. Auch hinsichtlich Innenraumkomforts gab es keine Beschwerden der Nutzer.

Eine wesentliche Erkenntnis ist, dass die preisgünstigen, im Lieferumfang der Regelungstechnik implementierten Wärmemengenzähler, mit einer zu hohen Messunsicherheit arbeiten. Vor allem die gemessenen Daten der Antriebsenergie der Absorptionskältemaschine (Q6a), hielten einer Plausibilitätsprüfung in vielen Fällen nicht stand. Alle anderen Daten konnten jedoch zur Detailauswertung weiter verwendet werden.

Die Anlage arbeitete im Sommer 2011 mit einer durchschnittlichen elektrischen Arbeitsszahl von 4,5. Abbildung 13 zeigt die Aufteilung des Verbrauches an elektrischer Hilfsenergie, und beweist, dass bei korrekter Dimensionierung des Rückkühlkreises inklusive Rückkühlpumpe und entsprechender Wartung des Kühlturmes der Stromverbrauch der entsprechenden Komponenten in den Griff zu bekommen ist.

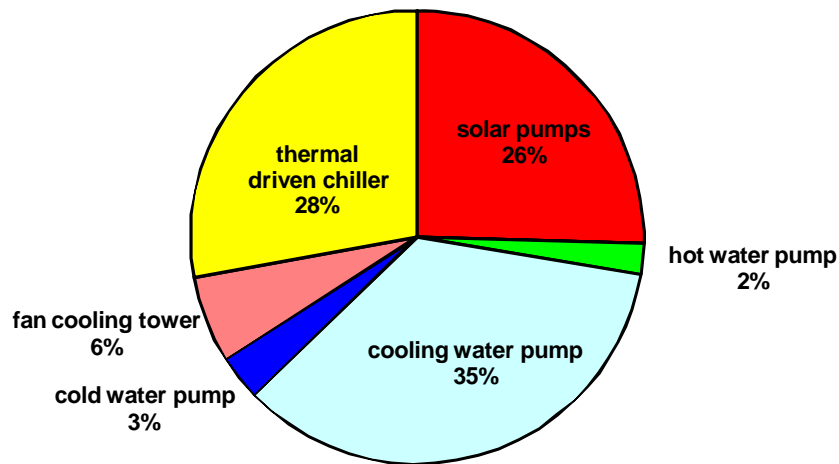


Abbildung 13: Aufteilung des Hilfsstromverbrauchs des solaren Kühlsystems, Anlage 3

4 Zusammenfassung

Die Analyse der 3 vorgestellten solaren Kühlanlagen zeigt deutlich, dass die eingesetzte Rückkühltechnologie das Hauptkriterium für die Anlageneffizienz ist. Auch die Reduktion des Standbyverbrauches der Einzelkomponenten bewirkt, mit meist geringem Aufwand, eine wesentliche Effizienzsteigerung.

Weitere Schlüsselfaktoren für die Verbreitung solarer Kühlanlagen sind engagierte und überzeugte Haustechniker, als Betreuer der Anlagen, und, zumindest in der Inbetriebnahmephase, eine entsprechende unabhängige wissenschaftlicher Betreuung. Andererseits zeigte die Auswertung der Anlage 1, dass die gängige Kompressionskältetechnik im Allgemeinen nur mit unterdurchschnittlicher Effizienz arbeitet.

All diese wichtigen Ergebnisse, welche den gegenwärtigen Status der Solaren Kühlung von Bürogebäuden repräsentieren, werden dabei helfen, den Weg zu einer neuen Generation von solaren Kühlsystemen aufzuzeigen.

5 Literatur (Formatvorlage: Überschrift 1)

Sparber W., Thuer A., Streicher W., Henning H.-M., Besana F., (2009), Unified Monitoring Procedure and Performance Assessment for Solar Assisted Heating and Cooling Systems, IEA Task 38, Bolzano

6 Danksagung

Das Projekt „Solar Cooling Monitor“ wurde im Rahmen des Forschungs- und Technologieprogramms „Haus der Zukunft plus“ gefördert.

Haus der Zukunft Plus ist ein Forschungs- und Technologieprogramm des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie. Es wird im Auftrag des BMVIT von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft gemeinsam mit der Austria Wirtschaftsservice Gesellschaft mbH und Österreichischen Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT) abgewickelt.
