
SOLAR COOLING MONITOR – PROJEKTÜBERBLICK UND ERFAHRUNGEN ZUR SOLAREN ADSORPTIONSKÄLTEANLAGE DER MAGISTRATSABTEILUNG 34, WIEN

Ing. Anita Preisler, DI (FH) Florian Dubisch
Institute of Technology, Energy Department, Sustainable Building Technologies
Giefinggasse 2, A-1210 Wien
Tel.: +43-50550 6634, Fax: DW -6613
E-Mail: anita.preisler@ait.ac.at

1 Einleitung

Um den Technologiesprung von Passivhäusern mit hoher Energieeffizienz zu Plusenergiegebäuden zu schaffen, ist neben einer Reduktion des Heizwärme- und Kühlbedarfs des Gebäudes an sich, die Integration von erneuerbaren Technologien zur Bereitstellung der Heiz- und Kühlenergie notwendig. Solarthermische Kühlung bietet im Bereich Gebäudeklimatisierung große Potenziale zur CO₂-Einsparung, Vermeidung der Sommerstromspitzen und Primärenergieeinsparung. Derzeit sind drei Technologien am Markt verfügbar:

- Absorptionskälteanlagen
- Adsorptionskälteanlagen
- DEC-Anlagen (Desiccant Evaporative Cooling)

Die bereits bestehenden Anlagen in Österreich sind meist Eigeninitiativen von Solarplanern, Kollektorherstellern oder Gemeinden. Derzeit gibt es sowohl in der Auslegung der einzelnen Anlagenkomponenten, als auch im Bereich der Regelung dieser Anlagen keine ausreichenden Erfahrungswerte oder entsprechende Software.

2 Inhalte und Zielsetzungen

Im Rahmen dieses Projektes soll ein Überblick sowohl über die derzeitige Ausführungsqualität von solaren Kühlanlagen in Österreich als auch zur Energieeffizienz und Betriebsverhalten geschaffen werden. Es wurden dafür zehn der neu installierten solarthermischen Kühlanlagen in Österreich sowie eine Großanlage in Lissabon ausgewählt. Die Performance dieser Anlagen wurde mittels Simulation und Monitoring untersucht. Ziel war es, anhand des Monitoring wichtige Hinweise für den derzeitigen Stand von solaren Kühlanlagen im Gebäudebereich zu bekommen und Optimierungspotenziale für die nächste Generation von solaren Kühlanlagen aufzuzeigen.

3 Beschreibung der untersuchten solarthermischen Kühlanlagen

Tabelle 1 zeigt, dass sich die untersuchten solaren Kühlanlagen nicht nur in den verwendeten Kühltechnologien (Absorption, Adsorption, DEC-Anlagen) unterscheiden, sondern auch in den Back-up Strategien, Rückkühltechnologien, Solarkollektorarten und in der Energieverteilung im Gebäude. Daher waren Vergleiche zwischen den solaren

Kühlanlagen nur bedingt möglich (Gebäude zu solarthermischen Kühlanlagen siehe Tabelle 2).

Tabelle 1 - Überblick verwendeter Kühltechnologien der untersuchten solarthermischen Kühlanlagen

| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|-------------------------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| Standort | Österreich | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | |
| | Südeuropa | | | | | | | | | | | x |
| Kühltechnologien | Klein-Absorptionskälteanlagen (<20 kW) | | | | | | | | | x | x | |
| | Absorptionskälte mittlerer Leistung | | | x | x | | x | x | x | | | |
| | Groß-Absorptionskälteanlagen (>400 kW) | | | | | | | | | | | x |
| | Klein-Adsorptionskälteanlagen (<20 kW) | | x | | | x | | | | | | |
| | DEC-Anlagen | x | | | | | | x | | | | |
| | Kompressionskälteanlagen (gemessen) | | | x | | | | | | | | |
| Back-up | 100% solare Kühlung ausgelegt | x | x | | | x | | x | | x | x | |
| | Wärmeseitiges Back-up | | | | | | x | | x | | | |
| | Kälteseitiges Back-up | | | x | x | | | | | | | x |
| Solartherm. Kollektoren | Flachkollektoren | x | x | x | x | x | x | | | x | x | x |
| | Hocheffizienz-Flachkollektoren | | | | | | | x | x | | | |
| | Fassaden-/Dachintegration | x | | | x | x | | | | x | | x |
| Rückkühlung | Nasse Rückkühler | | | x | x | | x | x | x | | | x |
| | Hybridrückkühler | | x | | | x | | | | x | x | |
| | Erdreich | | | | x | | | | | | | |
| Energieverteilung | Zentrale Lüftungsanlage | x | | x | x | | | x | | | | x |
| | Kühldecke | | | | | | | x | x | x | | |
| | Bauteilaktivierung/Fußbodenheizung | x | | | x | | x | | | | x | |
| | Fan-Coils | | x | x | | | | x | | x | | x |
| | Deckenlüfter | | | | | x | | | | | | |

1 = ENERGYbase Wien; 2 = MA34 Wien; 3 = BH-Rohrbach; 4 = Fa. Sunmaster, Eberstalzell; 5 = Fa. Kreuzroither, Schörfling; 6 = Fa. Gasokol, Saxen; 7 = Rathaus Gleisdorf; 8 = Feistritzwerke, Gleisdorf; 9 = Fa. SOLID, Graz; 10 = Fa. Bachler, Gröbming; 11 = Bankgebäude, Lissabon

Tabelle 2: Gebäude in welchen die untersuchten solarthermischen Kühlanlagen situiert sind



ENERGYbase (© Herta Hurnaus)

BH Rohrbach (Quelle: BH Rohrbach)



Wiener Magistratsabteilung 34 (Quelle: SOLution)



Firmengebäude Sunmaster (Quelle: Fa. Sunmaster)



Firmengebäude Kreuzroither (Quelle: Fa. Kreuzroither)



Firmengebäude Gasokol (Quelle: Fa. Gasokol)



Rathaus Gleisdorf



Feistritzwerke Gleisdorf



CoolCabin (Quelle: S.O.L.I.D.)



Firmengebäude Bachler (Quelle: Fa. Bachler)



CGD Bankgebäude Lissabon (Quelle: S.O.L.I.D.)

4 Ergebnisse

4.1 Erkenntnisse aus Anlagenevaluierung MA34

Die Magistratsabteilung 34 in Wien errichtete im Frühjahr 2009 eine solarthermische Kühlanlage für ca. 120 m² bestehende Bürofläche inkl. eines Besprechungsraums. Für diese Anlage wurde von Seiten AIT ein Monitoringkonzept erstellt, sowie über drei Sommer eine Monitoringauswertung mit Anlagenoptimierung durchgeführt.

4.1.1 Beschreibung der Anlage

Das Kernstück der Anlage ist eine Adsorptionskältemaschine (ADKM) Typ SOL ACS 08, der SorTech AG in Halle an der Saale/Deutschland mit einer Nennkälteleistung von 7,5 kW (siehe Abb. 1). Die Rückkühlung erfolgt durch einen trockenen Rückkühler RCS 08, der über eine drehzahlgeregelte Lüfertechnik verfügt und mit einem zusätzlichen Frischwassersprühsystem ausgestattet ist.

Die Antriebswärme für die Kältemaschine wird über 12 Universalflachkollektoren mit einer Gesamtbruttofläche von 32,40 m² der Firma SOLution Solartechnik GmbH generiert. Die Flachkollektoren sind in etwa 40° Neigung zur Horizontalen mit Südorientierung auf einem bestehenden Hallendach montiert. Im Anlagenkonzept ist keine Nacherwärmung durch andere Wärmeerzeuger vorgesehen. Die solare Wärme wird in einem 2000 l Solarpuffer zwischengespeichert – wobei die Beladung aus dem Sekundärsolarkreislauf über eine Schichtladeeinheit erfolgt. Im solaren Kühlbetrieb wird das über die Adsorptionskältemaschine erzeugte Kaltwasser in einem Kaltwasserpuffer mit dem Fassungsvermögen von 800 l zwischengespeichert. Je nach Kühlanforderung der verschiedenen Räume werden die einzelnen Fan-Coils mit Kaltwasser aus dem Kaltwasserspeicher beschickt.



Abb. 1 – Solarthermische Kühlanlage Magistratsabteilung 34, Wien

Im Winterbetrieb ermöglicht die hydraulische Verschaltung – siehe Abb. 2 – theoretisch eine solarthermische Unterstützung zur Raumbeheizung, jedoch wurde die Regelung dieser Heizungsunterstützung nicht mit der bestehenden Heizungsregelung über den Gaskessel gekoppelt und war daher nur selten in Betrieb. Weiters wurde die Umluftheizung über Fan-Coils von den Nutzern als unbehaglicher empfunden als die bestehende Heizkörperheizung. Dies führte dazu, dass nach einer Testphase im ersten Winter 2009 die Heizungsunterstützung über die Solaranlage deaktiviert wurde.

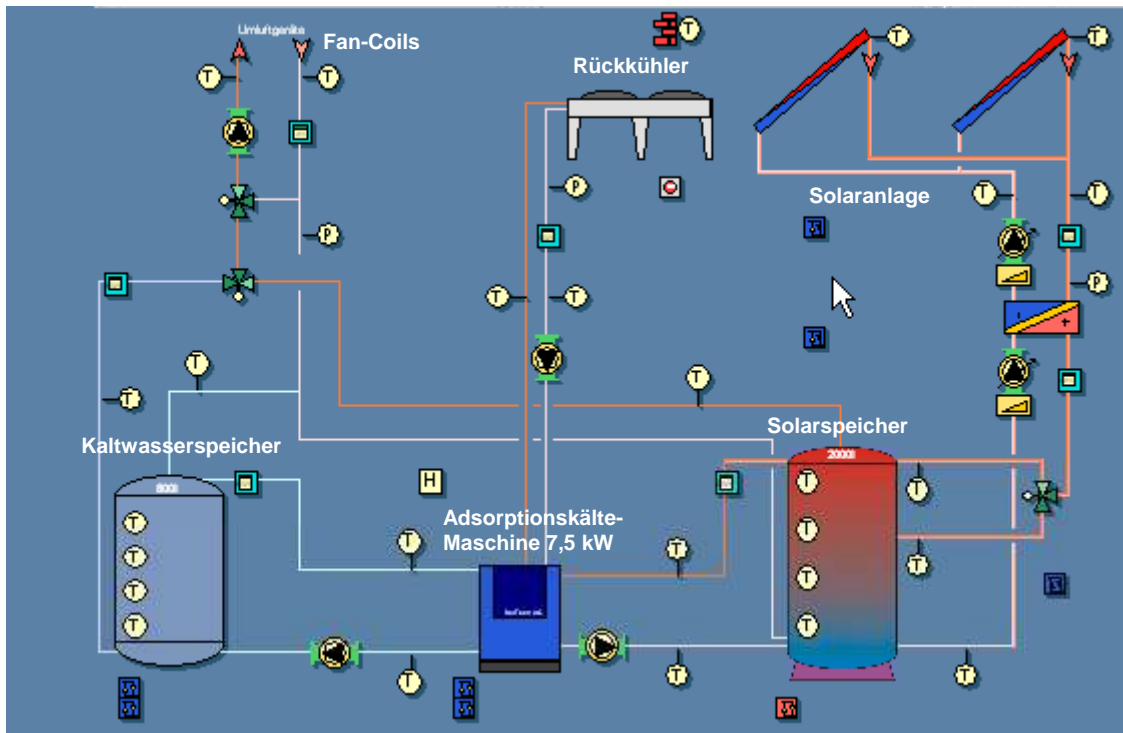


Abb. 2 – Schema der solaren Adsorptionskälteanlage

4.1.2 Ergebnisse aus Monitoringauswertung

Abb. 3 zeigt, dass der überwiegende Teil des Strombedarfs (52 %) durch den Rückkühler bzw. durch die Ventilatoren im Rückkühler verursacht wird. Sehr hoch liegen auch noch der Strombedarf für die Pumpe zum Rückkühler (20 %) und der Strombedarf für die Regelung (16 %). Die Solaranlage hat mit der Primärkreispumpe und der Sekundärkreispumpe vergleichsweise einen sehr geringen Strombedarf (5 %).

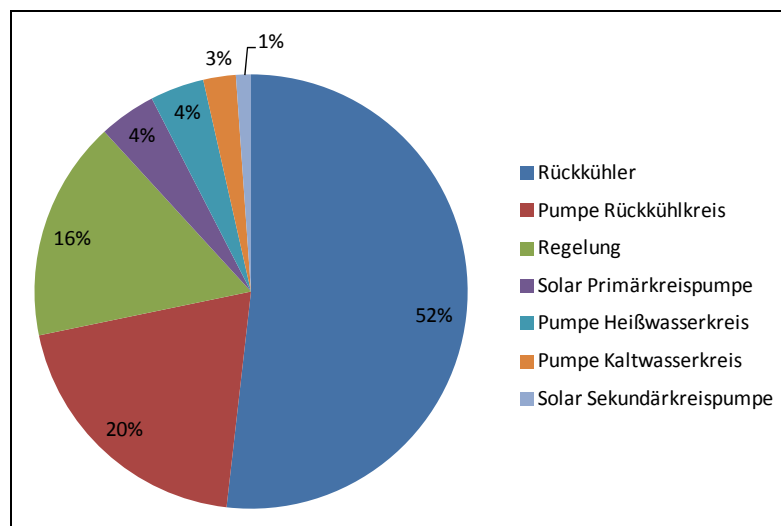


Abb. 3 – Anteil der einzelnen Anlagenteile am Strombedarf, Sommer 2011

Das Betriebsverhalten von Kälteanlagen wird meist mit dem Coefficient of Performance (COP) bewertet, welcher das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand beschreibt. Die

Auswertung der Abhängigkeit des COP_{el} und COP_{th} von der Außentemperatur hat gezeigt, dass der COP_{el} signifikant mit steigender Außentemperatur sinkt. Auch beim COP_{th} ist diese Tendenz erkennbar, jedoch nicht so ausgeprägt (siehe Abb. 4).

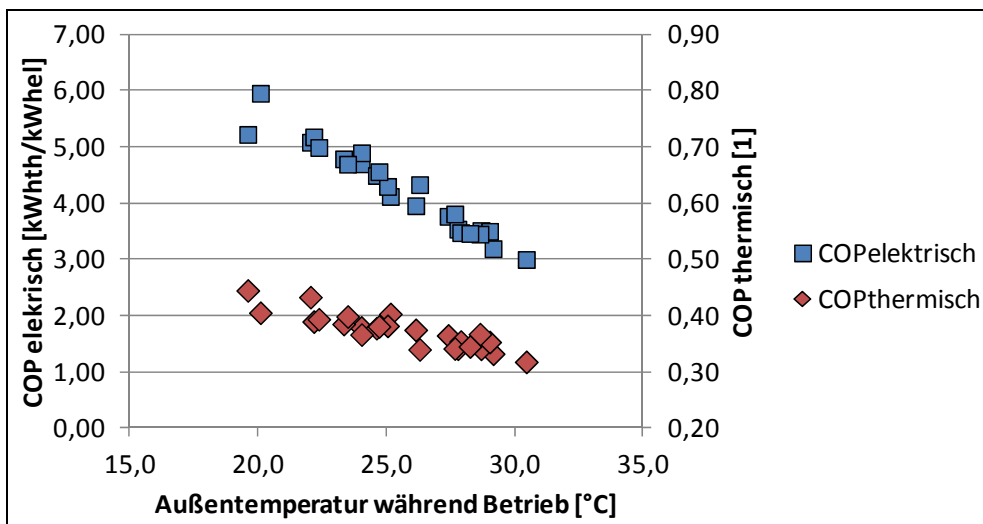


Abb. 4 - Abhängigkeit COP_{el} und COP_{th} von Außentemperatur, Juni 2011

Um den Strombedarf für die Rückkühler zu verringern (siehe Abb. 3) wurde bereits vor Beginn des Sommers 2010 eine Drehzahlregelung für die Ventilatoren der Rückkühler von der Firma SorTech integriert.

Im Zuge der Auswertung ist hierbei der 25. August 2010 hervor zu heben. An diesem Tag wurde zum ersten Mal eine Drehzahlregelung des Rückkühlers über einen längeren Zeitraum beobachtet. So regelt der Motor des Rückkühlers - welcher der Hauptstromverbraucher der Anlage ist - im Betrieb von den üblichen 670 W auf ca. 65 W Antriebsleistung herunter (siehe Abb. 5).

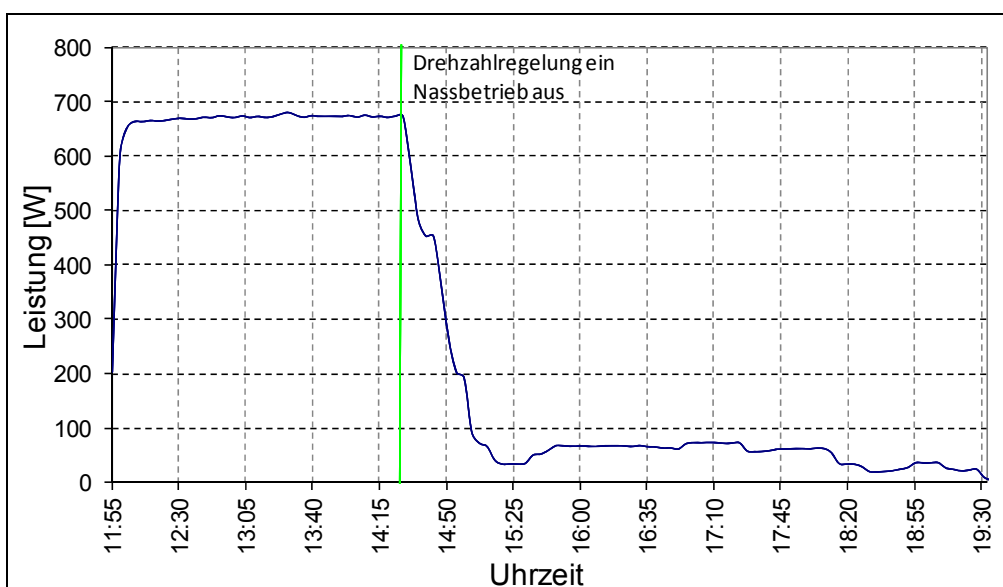


Abb. 5 - Leistungsaufnahme Rückkühler am 25.08.2010

Als direkte Folge davon steigen jedoch die Temperaturen in Vor- und Rücklauf der Rückkühlung erheblich an (siehe Abb. 6), was direkten Einfluss auf die bereitgestellte Kälteleistung hat (siehe Abb. 7). Hierbei ist zu erwähnen, dass sich die Drehzahlregelung

der Rückkühlung bei Erreichen einer Kühl-Solltemperatur von 12 °C einschaltet, was sich bei Betrachten der Temperaturverläufe bestätigt (siehe Abb. 6). Durch die Drehzahlregelung des Rückkühlers sinkt die bereitgestellte Kaltwassertemperatur nicht weiter ab, sondern verbleibt für den Rest des Betriebes auf einer Temperatur von ca. 11,5 °C. Dieser Wert wurde nach Absprache mit der Firma SorTech am 2. September auf 6 °C herabgesetzt.

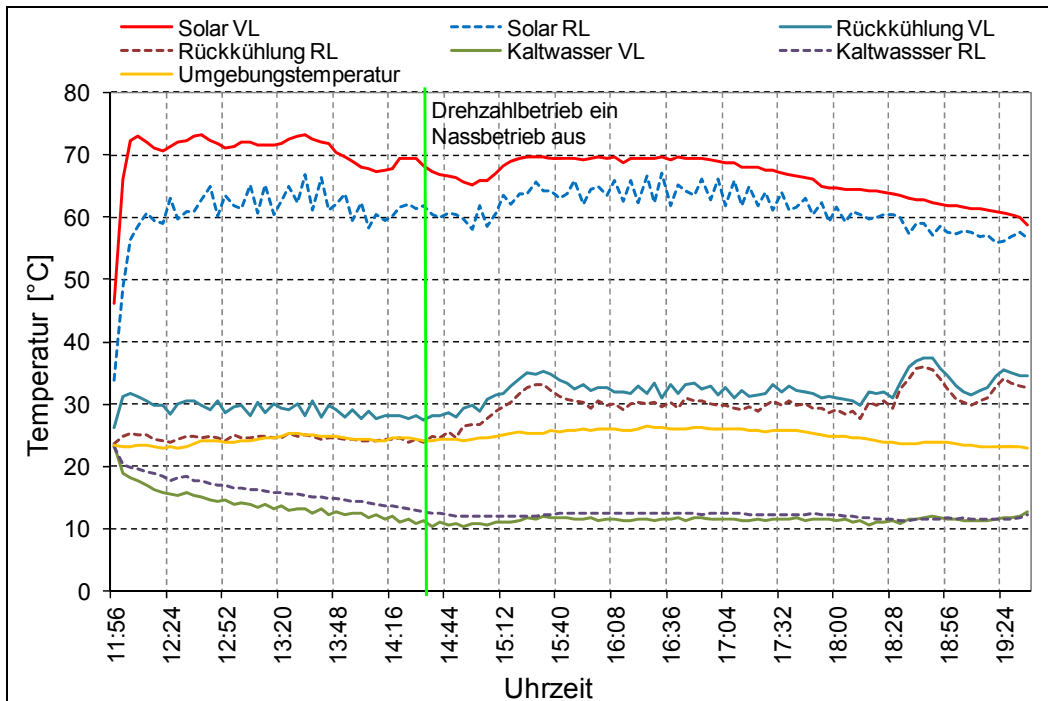


Abb. 6 - Temperaturverläufe um die Adsorptionskältemaschine am 25.08.2010

Der COP_{el} im Betrieb ohne Drehzahlregelung des Rückkühlers liegt am 25.08.2010 im Mittel bei 4,55 (siehe Abb. 7). Im Fall der Drehzahlregelung des Rückkühlers sinkt der COP_{el} im Mittel auf 2,78.

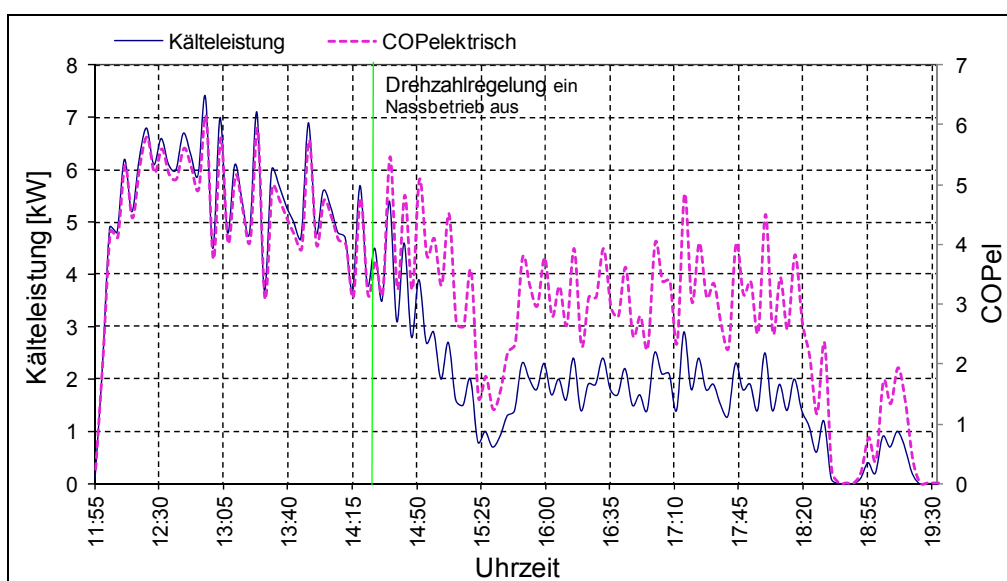


Abb. 7 - COP_{el} zu Kälteleistung am 25.08.2010

Die durchschnittliche Kälteleistung der Adsorptionskältemaschine beläuft sich ohne Drehzahlregelung des Rückkühlers auf 5,46 kW. Mit Drehzahlregelung sinkt dieser Wert auf 2,24 kW. Weiters schaltet sich der Nassbetrieb des Rückkühlers bei Eingriff der Drehzahlregelung wieder ab.

Diese Auswertungen zeigen, dass folgende Adaptierungen in der Regelung erforderlich sind:

- Betrieb der Adsorptionskältemaschine in Abhängigkeit der Abnahmeseite
- Regelung der Adsorptionskältemaschine nicht nur auf eine Kaltwassersolltemperatur, sondern auf eine Mindest-Temperaturdifferenz

Um diese Regelkriterien in die Regelung zu integrieren wurde vor Beginn des Kühlbetriebs 2011 die Regelung durch die Firma R&S adaptiert.

Tabelle 3 - Eingestellte Grenzwerte Regelung am 19.06.2011

| | Aus | Ein | Verzögerung |
|-----------------------|------|------|-------------|
| Regelkriterien | °C | °C | min |
| KW-Speicher oben | 12,0 | 17,0 | 02:00 |
| ΔT Kaltwasser | 2,0 | 2,1 | 02:00 |

In Abb. 8 und Abb. 9 ist das resultierende optimierte Anlagenverhalten mit den eingestellten Grenzwerten laut Tabelle 3 dargestellt. Die Anlage schaltet bei Unterschreitung einer einstellbaren Grenztemperatur am Kaltwasserspeicher oben von 12 °C, oder einer geringeren Temperaturdifferenz im Kaltwasserkreis zwischen Adsorptionskältemaschine und Kaltwasserspeicher von 2 K ab. Die Anlage schaltet wieder ein, wenn die Kaltwasserspeichertemperatur oben einen einstellbaren Grenzwert von 17 °C überschreitet. Der dadurch erzielte COP_{el} an diesem Tag liegt bei 6,0.

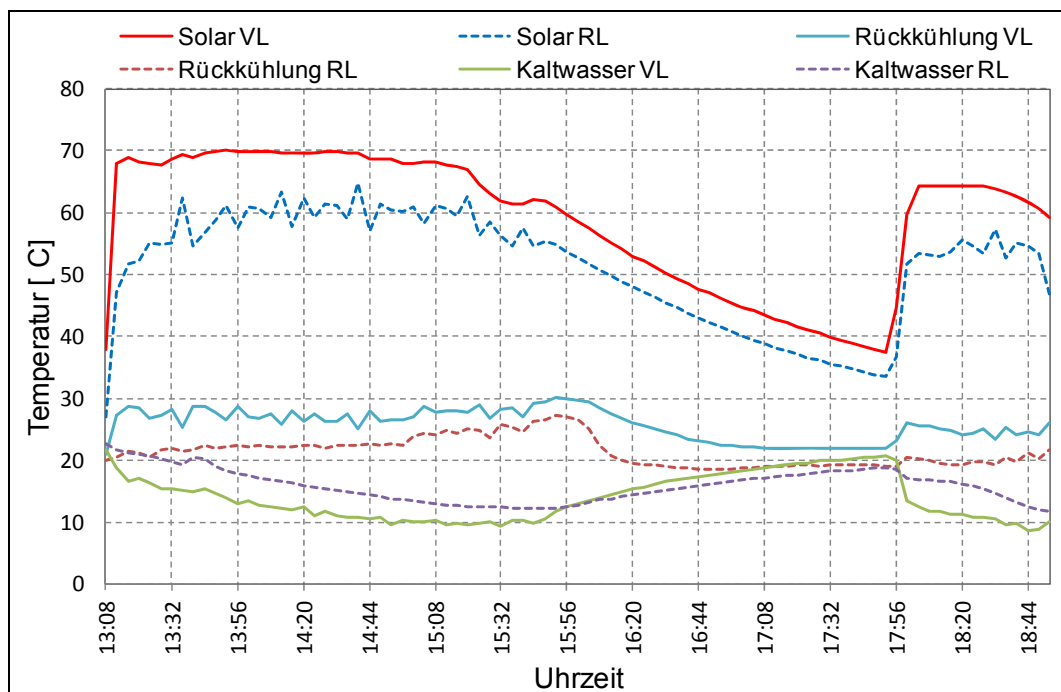


Abb. 8 - Temperaturverläufe um die Adsorptionskältemaschine am 19.06.2011

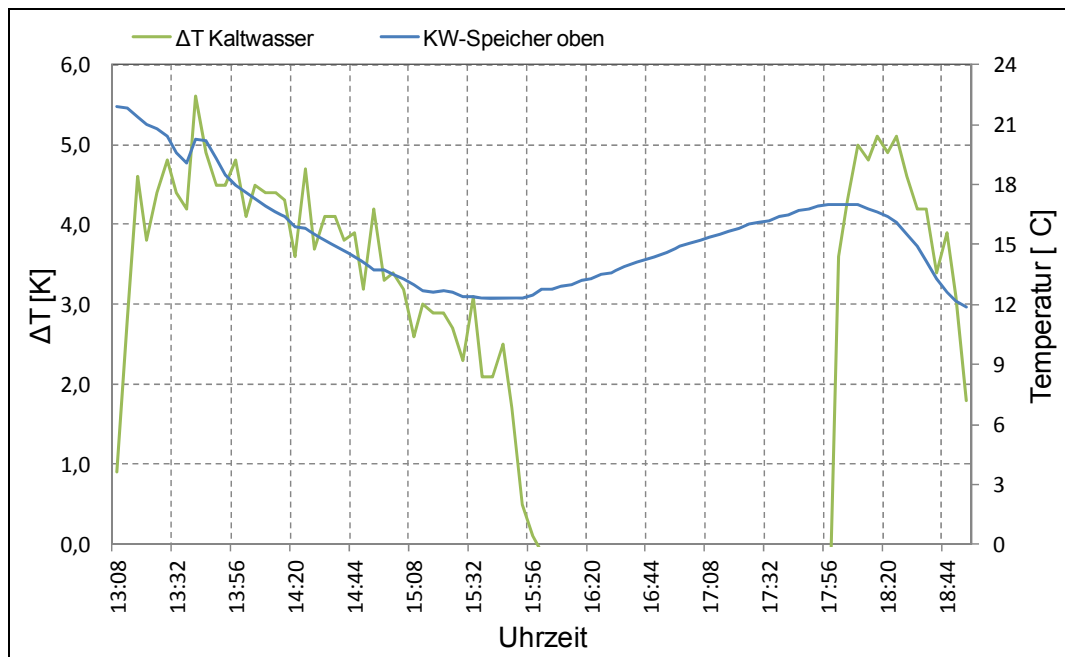


Abb. 9 - Anlagenverhalten gekoppelt an Kälteabnahme am 19.06.2011

4.1.3 Empfehlungen für zukünftige Planungen

Die Monitoringergebnisse und die Erfahrungen aus den Optimierungsmaßnahmen der solarthermischen Kühlanlage der MA 34 haben gezeigt, dass auf folgende Punkte in der Planung und im Betrieb einer derartigen Anlage ein besonderes Augenmerk gelegt werden muss:

- Einsatz von **drehzahlgeregelten, energieeffizienten** Pumpen
- **Eine** Regelung der Gesamtanlage; die Kopplung von zwei Regelsystemen (hier R&S Regelung mit SorTech Regelung) macht die Anlage unnötig komplex und Änderungen in der Regelung sind schwieriger umzusetzen.
- Einsatz eines Rückkühlwerks (vorzugsweise Nasskühlturm oder zumindest Hybridkühler) mit hoher Effizienzklasse.
- Regelungstechnische Kopplung der solarthermischen Kühlanlage mit der Kälteverteilung in die Räume (hier wird der Fan-Coil-Kreis separat von der solarthermischen Kühlanlage geregelt).
- Regelungstechnische Kopplung der Heizungsunterstützung über die Solaranlage mit dem bestehenden Heizsystem.

4.2 Generelle Erkenntnisse

Generell konnte folgende Performance der Anlagen über die Auswertung des Anlagenmonitorings festgestellt werden:

- Der thermische COP der Anlagen liegt bis auf wenige Ausnahmen niedriger als erwartet. Hohe Antriebstemperaturen ($> 80\text{ °C}$ für Absorption; $> 70\text{ °C}$ für Adsorption) von Seiten der Solaranlage und ein optimiertes Speichermanagement sind entscheidend um akzeptable thermische COPs zu erreichen.
- Der elektrische COP lag in den evaluierten Anlagen im ersten Sommer (2009 bzw. 2010) auch niedriger als erwartet (< 3). Hauptgründe für die zu hohen elektrischen COP waren die ineffiziente Rückkühlung, unnötiger Betrieb von Anlagenteilen (außerhalb Betriebszeiten), der Einsatz von nicht energieeffizienten Pumpen und

ineffiziente Regelstrategien. Hier konnten erhebliche Optimierungen durch die Projektteilnehmer erzielt werden um somit zumindest rechnerisch jede Anlage auf einen elektrischen COP > 5 zu bringen.

- Das Teillastverhalten der Anlagen war überwiegend nicht zufriedenstellend. Eine Auslegung von solarthermischen Kühlanlagen auf eine möglichst stabile Grundlastkühlung ist daher in der Planung anzustreben.
- Solarthermische Kühlanlagen verlangen eine unterschiedliche Speicherbewirtschaftung für Sommer und Winter. Auch hier konnten wesentliche Optimierungen durch Anpassung der Regelung erzielt werden.
- Der Strombedarf der Anlagen für Rückkühlung unterscheidet sich erheblich. Die in Anlage 2 und Anlage 5 verwendeten Hybridrückkühler benötigen bis zum Dreifachen des Strombedarfs pro kWh bereitgestellte Kühlenergie im Vergleich zu den Hybridkühlern, welche in Anlage 9 und Anlage 10 verwendet wurden. Hier zeigt sich wieder, dass die Auswahl von energieeffizienten Komponenten essenziell wichtig ist.
- Bei der Festlegung von Regelungsstrategien wurde nicht in allen Anlagen die Gesamtanlageneffizienz von Beginn an mit berücksichtigt. So regelt der Regler der Ab- bzw. Adsorptionskältemaschine üblicherweise auf eine bestimmte Kühlsolltemperatur, unabhängig von der gerade erforderlichen Kälteabnahme. Hier hat sich gezeigt, dass das Einführen einer Mindesttemperaturspreizung auf der Kälteseite (> 2 K) und eine Begrenzung der Kaltwasserspeicherbeladung die Energieeffizienz der Gesamtanlage erheblich steigern konnte.

Projektteam:

AIT – Austrian Institute of Technology (Projektleitung)

ASIC – Austria Solar Innovation Center

AEE-INTEC Gleisdorf

Technische Universität Graz – Institut für Wärmetechnik

S.O.L.I.D. Gesellschaft für Solarinstallationen und Design mbH

Universität Innsbruck, Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften, Arbeitsbereich Energieeffizientes Bauen
