



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

SOLARE KÜHLUNG, WEINGUT SCHLOSS SALENEGG

Zwischenbericht

Ausgearbeitet durch

Bernd Sitzmann, Ökozentrum Langenbruck
Schwengistrasse 12, CH-4438 Langenbruck,
sitzmann@oekozentrum.ch

Impressum

Datum: November 2006

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Forschungsprogramm Solarwärme

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00

www.bfe.admin.ch

BFE-Bereichsleiter, urs.wolfer@bfe.admin.ch

BFE-Projektnummer: 101384

Bezugsort der Publikation: www.solarch.ch

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Ausgangslage

Hohe Energieverbräuche für Klimatisierung und Kühlung besonders in den Sommermonaten stellen neue Herausforderungen an die Forschung und Entwicklung im Energiesektor des 21. Jahrhunderts. Die Gleichzeitigkeit von Kühlbedarf und Verfügbarkeit der Solarenergie stellt eine interessante Lösung dar, um Energieangebot und Nachfrage zu decken.

Derzeitige Forschungsaktivitäten im Europäischen Umfeld konzentrieren sich auf die Entwicklung sorptionsgestützter Kühlaggregate im kleinen Leistungsbereich (>15 kW) mit weitmöglichst niedrigen heizseitigen Eingangstemperaturen, um dem Gesamtwirkungsgrad auch mit konventionellen Flachkollektoren zu verbessern.

Von den derzeit auf dem Markt neu verfügbaren Anlagen wurde in diesem Projekt eine 15 kW Anlage der Firma EAW aus Deutschland auf ihre Betriebstauglichkeit unter realen Bedingungen getestet.

Ziele des Projekts

Das Projekt hat zum Ziel solare Kühlanlagen im Kleinleistungsbereich auf ihre Betriebstauglichkeit unter realen Bedingungen zu testen. Die Ergebnisse aus dem Anlagebetrieb sollen für Entscheidungen in zukünftige Vorhaben in der Forschung und Entwicklungsstrategie solar unterstützter Kühlanlagen dienen.

Die folgenden Fragen sollen in diesem Bericht erörtert werden:

Kann die **Kühllast und der Komfortanspruch** des Kunden über die Solaranlage erbracht werden?

Wird der von EAW angegebene **COP** erreicht?

Wie ist im **speziellen das Anlageverhalten** in den Übergangsmonaten von Frühling/Sommer und Sommer/Herbst?

Wie gross ist der **interne Stromverbrauch** der Anlage?

Wo liegen **Optimierungspotentiale** in der Anlagentechnik?

Beschreibung der Anlage

Die 15 kW Absorptionsanlage der Firma EAW wurde in eine bestehende Solaranlage zur Heizungsunterstützung mit einer Kollektorfläche von 70 m² und einen Speichervolumen von 3200 Liter eingebunden. Die Anlage versorgt das anliegenden Wohngebäude und in der Weinherstellung mit Warmwasser. Die Heizungsunterstützung wird auch zur Temperaturregulierung des Weinlagers in den Wintermonaten verwendet. Die solare Kühlung dient ausschliesslich für die Kühlung des Weintanklagers mit einer Kühllast von 4.4 kW. Eine Erweiterung zur Kühlung des Flaschenlagers ist vorbereitet.

Als heizseitige Zusatzenergie steht ein Ölbrenner zur Verfügung. Als kühlseitige Zusatzenergie wird die bestehende Kompressorkühlanlage verwendet. Eine Vorrangschaltung der Kompressorkühlanlage gegenüber der Absorptionsanlage, im Falle nicht verfügbarer Solarenergie wurde eingerichtet um einen möglichen Kühlbetrieb über den



Bild 1: 15 kW Absorptionsmaschine Weingut Schloss Salenegg (EAW WEGARCAL 15)

Die Betriebsdauer der Kompressoranlage wurde nicht erfasst und sollte in der weiteren Datenerfassung registriert werden. Dadurch kann erst später eine Gesamtenergiebilanzierung durchgeführt werden.

Erhebliche Probleme mit dem Wärmezähler zur Erfassung der produzierten Kälteenergie machte es ebenfalls schwierig über eine Gesamtenergiebilanzierung auszusagen. Die Behebung dieser Probleme soll auch Bestandteil einer weiteren Messperiode im 2007 sein.

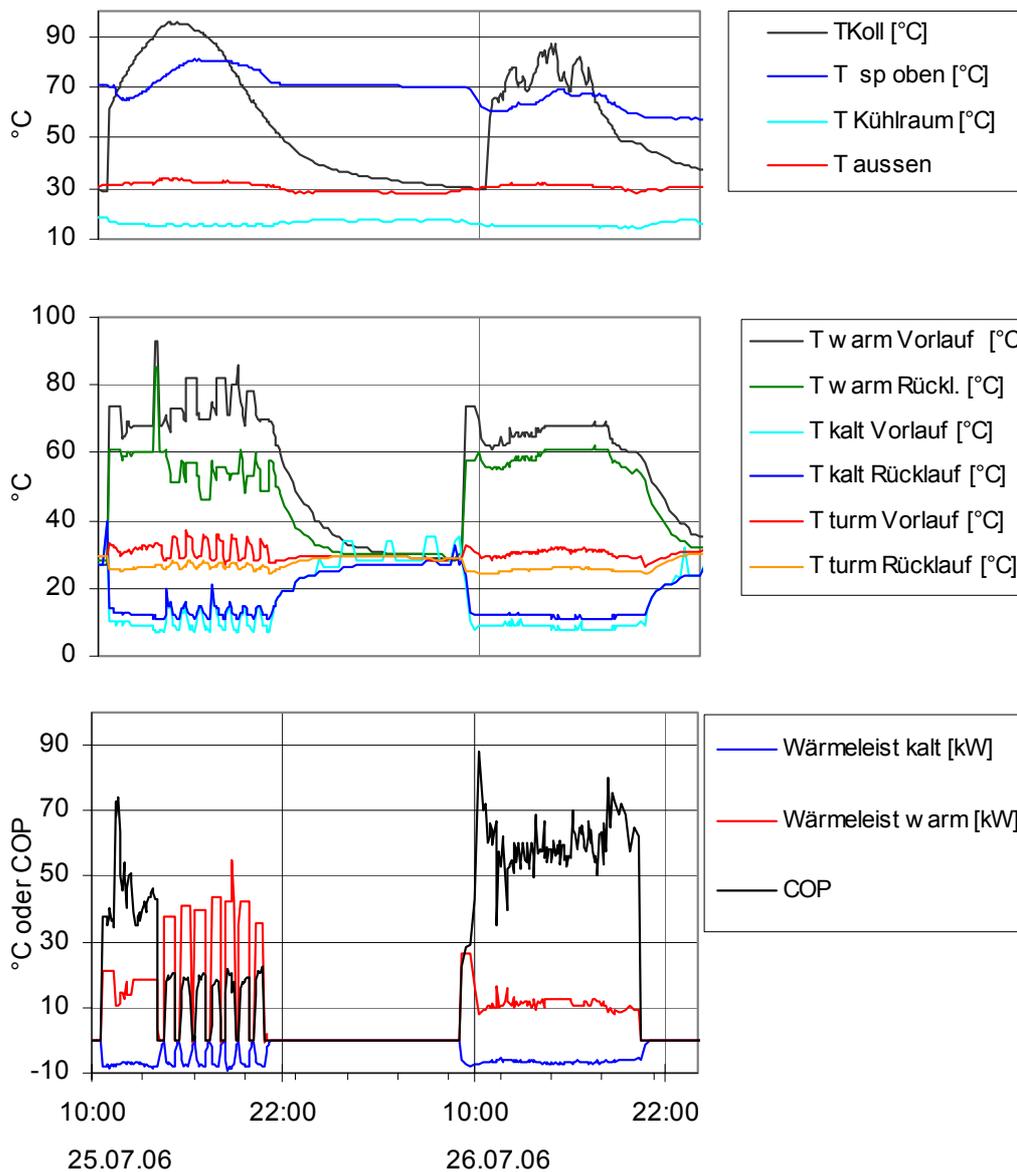


Bild 2: Messdatenauswertung Solare Kühlung, Weingut Schloss Salenegg, 25.07.2006 und 26.07.2006 (weitere Daten siehe Anhang).

Nach den ersten Betriebserfahrungen im Juli wurde festgestellt, dass bei hohen Aussentemperaturen die Absorptionsanlage auf Grund der Kälte-Anforderung nicht ausschaltet, selbst wenn der Wärmespeicher bereits entladen ist. Dadurch entsteht eine Anforderung an den Ölkessel den Wärmespeicher für Kühlzwecke nach zu heizen, was eine nicht sinnvolle Lösung darstellt. Zur Beseitigung dieser Speicherladeoption wurde eine einfache Vorrangschaltung des Wärmespeicherzustands in die Kälte-Anforderung eingebunden.

Die Anlage hatte anfänglich eine starke Taktfrequenz zwischen Ein- und Ausschalten um die vorgegebenen 15°C im Tankraum zu gewährleisten. Dies tritt besonders am Nachmittag (siehe Messdaten vom 25.07.2006 im Bild 2) auf, wenn der Speicher eine hohe Warmwassertemperatur an die Absorptionsanlage liefern kann und der Tankraum bereits vorgekühlt wurde. Die Anlage kann dann mit voller Leistung arbeiten und kühlt den Tankraum in kurzer Zeit auf den Sollwert. Das Takten hat einen schlechten COP von ca. 0.2 zur Folge. In den Abschaltphasen und zwischen den Betriebsphasen kühlt die Anlage aus. In der Startphase muss der Kühlkreislauf auf die Arbeitstemperatur vorgeheizt werden.

Sobald der Speicher nur niedrige Warmwassertemperaturen unter 70°C an die Absorptionsanlage liefert (siehe Messdaten vom 26.07.2006 im Bild 2), sinkt auch die Anlageleistung und führt zu einem konstanten Anlagebetrieb. Der COP liegt dann im Bereich von 0.6.

Zur Reduktion dieses Taktens wurde die Kühltemperatur um 4 K unterhalb der Kundenanforderung gesetzt. Damit wurde es ermöglicht den Wein als Energiespeicherkapazität zu nutzen. Weiterhin sollte in Zukunft ein Mischventil in den Heizkreis der Absorptionsanlage eingebaut werden um über die Vorlauftemperatur die Anlageleistung zu regulieren.

Die Anlageplanung hat auch die Kälteversorgung des Flaschenlagers vorgesehen, konnte aber wegen fehlender Finanzen kurzfristig nicht durchgeführt werden, was ebenfalls zur momentanen Überkapazität an Kälteenergie und damit zum Taktbetrieb beiträgt.

Ein offener Kühlturmkreislauf sollte in zukünftige Projekte in dieser Leistungsgrösse vermieden werden. Die starke Verschmutzung bedarf einen hohen Aufwand an Zusatzgeräten (Leitfähigkeitsprüfung, Schmutzfilter, div. Magnetventile, Steuerung) und Wartung. Ausserdem wird mit der Druckpumpe (550W) ein hoher Zusatzstromverbrauch verursacht. Herkömmliche Druckpumpen sind ausserdem oft nicht für derartigen Dauerbetrieb ausgelegt.

Eine überschlägige Berechnung der Elektroleistung für Sekundärgeräte und Absorptionsmaschine (siehe Tabelle 2) zeigt einen beachtlichen Energieverbrauch von 1.9 kW.

Eine gleichwertige Kompressoranlage mit 15 kW Kälteleistung würde bei einem COP = 3 lediglich 5kW Elektroleistung benötigen.

Weitere Untersuchungen und anschliessende Verbesserungen zur Effizienzsteigerung im Elektroenergieverbrauch für Sekundärgeräte werden empfohlen.

Der Wärmespeicher wird in der jetzigen hydraulischen Verschaltung stark durchmischt und kann dadurch keine Schichtung aufbauen. In einer 2. Projektphase sollten Verbesserungen diesbezüglich durchgeführt werden, um die Anlageeffizienz weiter zu steigern.

In den Spätsommertagen wurde eine Leistungsverminderung auf Grund nicht ausreichend verfügbarer Solarenergie bei gleichzeitiger Kälteanforderung festgestellt. Dies tritt besonders im Herbst und nicht im Frühling ein, da das massive Mauerwerk eine grosse Energiespeichermasse darstellt.

Tabelle 2: Elektroleistung für Sekundärgeräte

Anlageleistung	Leistung [W]
Absorptionsanlage	300
Kühlturmventilator	370
Luftkühlerventilator	525
Kühlkreispumpe	70
Heizkreispumpe	90
Kaltwasserkreispumpe	550
TOTAL	1905

Schlussfolgerung und Aussicht

Zur Optimierung der Anlage werden folgende Massnahmen vorgeschlagen:

Einbau eines Mischventils und entsprechender Regelung um die Heizkreistemperatur entsprechend Kühlbedarf anzupassen.

1. Dadurch wird ein konstanter Kühlbetrieb ohne Takten gewährleistet.
2. Der COP der Anlage steigt von 0.2-0.3 im Taktbetrieb (volle Leistung) auf 0.5-0.7 im Betrieb mit geregelter Leistung über Veränderung der Heizwassertemperatur.
3. Die Speicherschichtung verbessert sich erheblich, da nur ein Teilvolumenstrom im Heizwasserkreis den Speicher durchströmt.

Anschluss des Flaschenlagers an die Absorptionsanlage damit die volle Anlageleistung ausgenutzt werden kann.

Weitere Datenerfassung im 2007 mit Einbindung des gesamten Elektroenergieverbrauch (Kompressoranlage und Absorptionsanlage) und Konzentration auf eine Gesamtenergiebilanzierung.

Analyse zur Verminderung des Elektroenergieverbrauchs.

Verantwortliche Personen

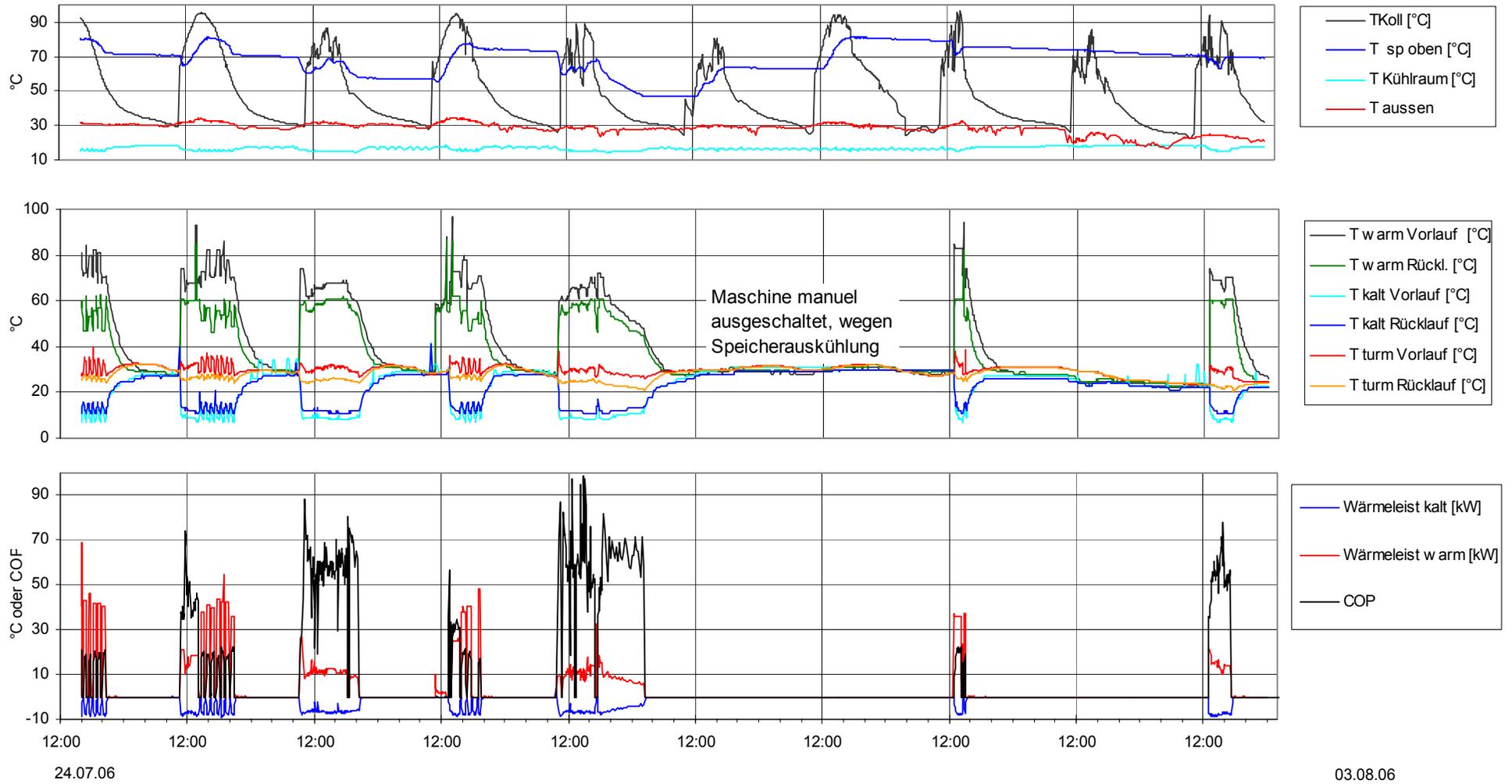
- Ingenieur(e)/Planer, Messungen
Ökozentrum Langenbruck
Bernd Sitzmann
Schwengistr. 12
4438 Langenbruck
Tel.: 062 387 31 36
Fax 062 390 16 40
sitzmann@oekozentrum.ch
- Anlagenlieferant
EAW Energieanlagenbau GmbH
Bernd Hebenstreit
Oberes Tor 106
98631 Westenfeld
Tel.: 0049-3 69 48 - 84 142
Fax: 0049-36948 84152
bhebenstreit@eaw-energieanlagenbau.de
- Eigentümer
Von Gugelberg
Weingut Schloss Salenegg
7304 Maienfeld
Tel.: 081 302 11 51
Fax: 081 302 35 70
u.hoehener@schloss-salenegg.ch

Unterschrift

Langenbruck, 05.Dezember 2006

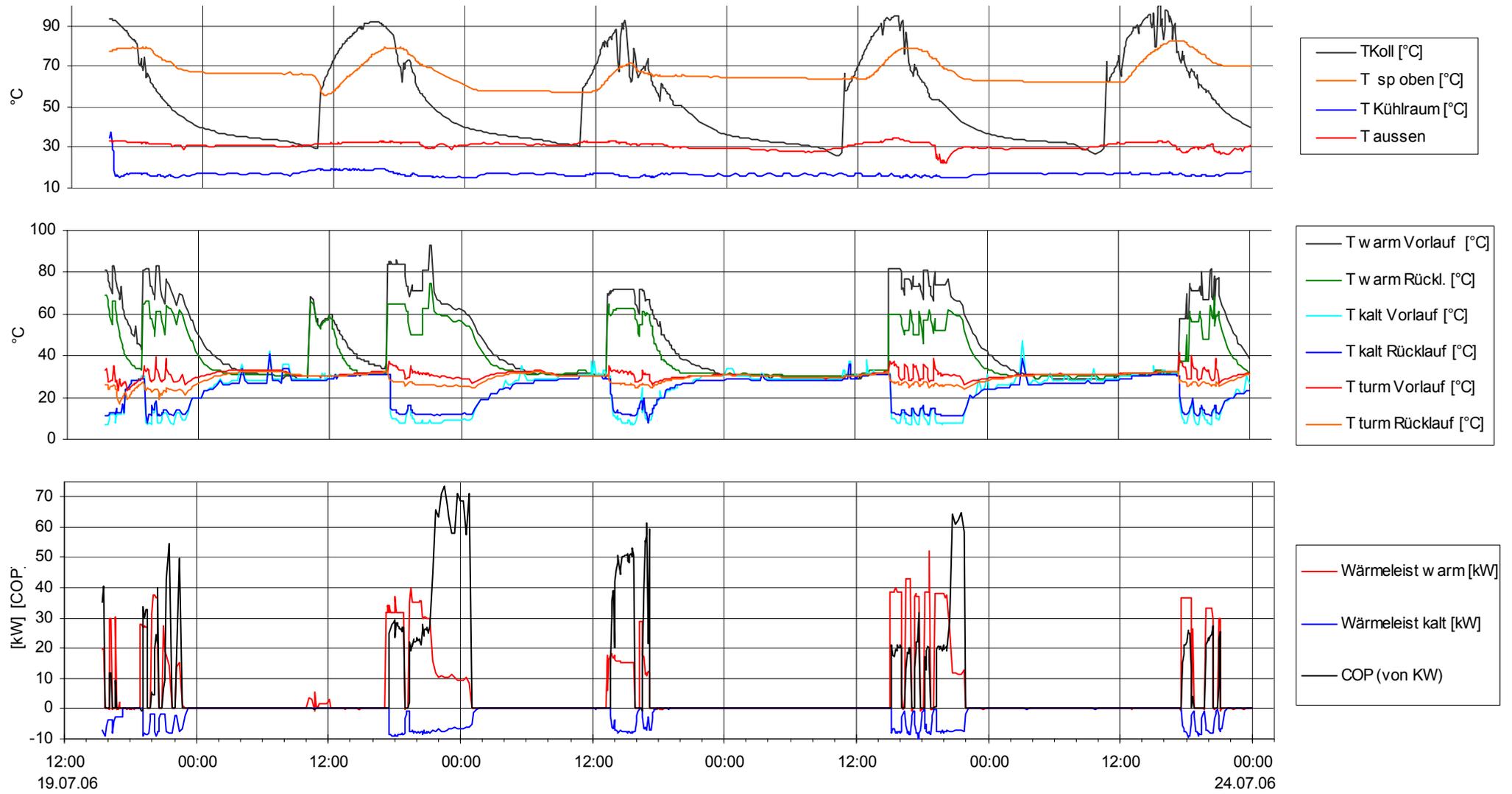
Bernd Sitzmann

Anhang



24.07.06

03.08.06



Ereignisprotokoll

- 5.10.2005** Inbetriebnahme für Standby-Betrieb über Wintermonate zusammen mit EAW
- Oktober 2005**
- Fehler NeoVac Kältezähler (T Rücklauf Ausschläge)
 - Fehler Siemens Wärmezähler (Durchfluss: 0.5 m³/h)
- 16.11.2005** Fehler NeoVac Kältezähler (Durchfluss: 0.2 m³/h)
- 23.05.2006** Offizielle Inbetriebnahme der Anlage zusammen mit EAW
- 14.06.2006**
- Erster kurzes Einschalten der EAW Anlage, Werte sehen normal aus
 - Durchfluss Kältezähler geht teilweise auf negative 1,4 m³/h
 - Beginn leichter Störungen des Durchflusses im Kältezähler
 - Messdatenerfassung geht temporär in Störung, bis 17.06.treten vereinzelt Nullwerte auf.
 - Störungen und Ausschläge bei Temperaturen und Durchflüsse von NeoVac und Siemens-Zeähler treten sofort nach diesem Ereignis auf! Gehäuft während Betrieb der Anlage. Besonders scheint der Kältezähler gestört.
 - Durchflüsse beider Zähler sind zeitweise positiv oder negativ.
 - Von nun an ändern sich zeitweise die Durchflüsse des Wärmezählers von 2 auf 1,5 oder sogar auf 3 m³/h über längere Zeiträume.
 - Temperaturdifferenzen werden aber grösstenteils korrekt wiedergegeben.
- 19.06.2006** Zweiter kurzes Einschalten der EAW Anlage
- 21.06.2006**
- Erster dauerhafter Kühlvorgang- Start der Kühlperiode
 - Durchfluss Warm bei ca. 1,5 m³/h
 - Durchflussmessung Kältezähler (ca, 1,9 m³/h) läuft erst 4 h nach Wärmezähler an.
- 22.06.2006** Beginn Fehler T Kühlraum (Werte bei 30 °C) wegen Korrosion am Kontakt bis 19.07.2006.
- 24.06.2006**
- Letzter bekannter Funktionstag des Kältezählers hinsichtlich Temperatur und Durchfluss
 - Temperatur- und Durchflussmessung Kältezähler komplett ausgefallen bis 19.07.06, dementsprechend gibt es auch keine kWh-Zählung (trotz positivem dT).
 - dT warm und kalt sind bei 2 – 3 K
 - Nächste Kälteanforderung am 30.06.06
- 30.06.2006**
- Anlage in Betrieb, aber nur T Kalt von 19°C erreicht (Vorlauf Kalt an T Estrich gemessen), schwache Kälteleistung
 - Nächste Kälteanforderung am 6.07.06

- 04.07.2006**
- Arbeitsbesuch mp und mm, Fehleranalyse, dabei inkorrekte Stellung des Mischventiles, sowie fehlendes Entlüftungs- und Belüftungsventil (Kühlkreislauf) festgestellt. Kühl- turmkreislauf hat sich selbstständig entleert.
 - EAW Anlage für Modifikationsarbeiten ausgeschaltet
 - Arbeiten erfolgen seitens Marcel bis 06.07.06
- 06.07.2006**
- Arbeitsbesuch mp
 - Anlage wieder in Betrieb genommen
 - Anlage läuft, aber T kalt nur bei 19°C (an T Estrich gemessen), Kältezähler immer noch ausser Funktion
 - Nächste Kälteanforderung am 10.07.06
- 10.07.2006**
- T kalt bei max 15 bis 17 °C (Vorlauf Kalt an T Estrich gemessen), dT Warm bei ca. 5 K. Kältezähler immer noch ausser Funktion
- 12.07.2006**
- Anlage jeden Tag in Funktion, keine Aussage über Kühlleistung möglich.
 - T Kühlraum immer noch gestört
 - Ausfall Messdatensammlung, keine Rohdaten vorhanden bis 19.07.
- 14.07.2006**
- Erste Beobachtung, dass die EAW die ganze Nacht durchläuft und den Solarspeicher auf 40 °C leert
- 18.07.2006**
- Störung EAW, nach Reset ok**
- 19.07.2006**
- Arbeitsbesuch mp, siehe Bericht
 - Messdatensammlung wieder in Betrieb
 - Durchflussmessung und Temperaturmessung Kältezähler wieder korrekt (ca. 2 m³/h), augenscheinlicher war kein Fehler vorhanden.
 - kWh Zählung funktioniert weiterhin nicht, da dT Kältezähler ab jetzt negativ – Umstecken der Fühler ist bei diesem Typ nicht möglich
 - Ausfall EAW Displayanzeige, nach Reset ok
- 25.07.2006**
- Erhöhung des Durchflusses Q Warm von 1,4 auf 1,8 m³/h von 12:35 bis 14:05
- 26.07.2006**
- Merklliche Schwankung des Durchflusses Q Warm von 1,2 bis 1,4 m³/h
 - Es herrschen an diesen Tagen hohe Aussentemperaturen >32 °C
- 27.07.2006**
- Veränderung des Durchflusses Q Warm von 1,4 auf -1,9 m³/h von 14 bis 15:30 Uhr.
 - Oben genannten Durchflussphänomene enden immer nach temporärer Ausschaltung der Warmwasserpumpe

Anfang August 2006	Anlage für ca 14 Tage infolge tiefer Kühlwassertemperaturen (T aussen in der Nacht < 20 °C) nicht betriebsbereit.
10.08.2006	Anbau Temperaturbegrenzer am Solarspeicher durch bs
16.08.2006	Anbau neuer Kältezähler durch Marcel
17.08.2006	Letzte scheinbar korrekte Messung der Temperaturen durch Wärmezähler, später bleiben die Werte zwar scheinbar korrekt, sind aber stundenlang ohne Schwankung, auch durch die Nacht durch. Sie schnellen sehr diskret auf den jeweiligen Wert und verharren dort bis zum nächsten Sprung
18.08.2006	<ul style="list-style-type: none">- Inbetriebnahme Kältezähler erfolglos, da falsches Übertragungsmodul (Seriell statt Current Loop)- Funktionskorrektur des neuen Temperaturbegrenzers- Ausfall Adam-Logger bis 25.08- Laptop ausgeschaltet durch mp
21.08.2006	<p>Einschaltung Laptop durch Heinz, Adam weiter ausgeschaltet</p> <ul style="list-style-type: none">- Letzte bekannte korrekte Messung kWh Wärmezähler
23.08.2006	Austausch Sendemodul Kältezähler durch NeoVac Techniker
25.08.2006	<ul style="list-style-type: none">- Inbetriebnahme Kältezähler im Stand by Betrieb erfolgreich, siehe Bericht- Durchflüsse des Kältezählers sind ab jetzt ständig positiv aber stark schwankend zwischen 1 und 6 m³/h, keine Aussage möglich.- Temperaturanzeigen des Kältezählers sehr konstant und ohne Schwankungen. Phänomen aber nicht so ungewöhnlich ausgeprägt, wie beim Wärmezähler- kWh Zählung des Kältezählers funktioniert nicht infolge negativen dT- kWh Zahlung des Wärmzählers definitiv ausgestiegen, trotz positiver dT
26.08.2006	Einzig bekannte scheinbar korrekte Messung des Durchflusses Q Kalt mit ca 1,9 m ³ /h
01.09.2006	<ul style="list-style-type: none">- Umprogrammierung Steuerung durch Heinz und Otto EAW, damit die Anlage auch bei niedrigen Kühlwassertemperaturen anläuft.- Seit 15:58 Uhr ändert sich Qwarm von bisherigen 1,4 m³/h (Seit 28.07.06) auf negative 1,8 m³/h bis Ende Kühlperiode. Werte schwanken tagesweise von -1,8 bis -5 m³/h, bleiben aber dann auf dem jeweiligen Wert ungewöhnlich konstant.
Seit Anfang September 2006	<p>Erste Störungen in der Fernabfrage, ab Mitte September Komplettausfall der Fernabfrage, Telefon hat kein Freizeichen. Nach telefonischer Instruktion von Heinz ist Freizeichen vorhanden, das Modem nimmt den Anruf aber nicht an.</p>

- 6.09.2006** Ungewöhnliche Durchflüsse für Kälte- und Wärmezähler treten von nun dauerhaft auf. Q_{kalt} ca. 4 bis 5 m³/h, Q_{warm} ca -5 m³/h. Durchflüsse von Wärmezähler negativieren und positivieren zeitweise.
- September 2006** Hinweis seitens Heinz, dass Kälteerzeugung sehr ineffizient ist, da trotz hoher dT_{Warm} von 20 K nur ca. 12 – 15 °C Kälte produziert werden.
- 25.09.2006** Ende der Kühlungsperiode, danach keine Kälteanforderung seitens Kühlraum
- 13.10.2006**
- Anlage für Winter ausser Betrieb genommen
 - Jetpumpe ausgebaut
 - Kühlkreislauf entleert
 - Problem mit Modem konnte nicht geklärt werden