
ERFAHRUNGEN AUS BETRIEB UND OPTIMIERUNG ZWEIER ANLAGEN ZUM SOLAREN KÜHLEN

Dipl. Ing. (FH) Daniel Neyer, Dipl. Ing. (FH) Jacqueline Neyer
Universität Innsbruck

Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften, AB Energieeffizientes Bauen
Technikerstr. 13, A-6020 Innsbruck
Tel.: +43-512 / 507 -6618, Fax: DW -36902
E-Mail: daniel.neyer@uibk.ac.at

1 Anlage 1: CoolCabin, Fa. S.O.L.I.D, Graz

1.1 Anlagenbeschreibung

Das Bürogebäude der Fa. S.O.L.I.D wurde 2004 renoviert. Die solare Kältebereitstellung wurde 2008 nachträglich installiert. Das Büro ist nach Süden und Westen hin orientiert. Um die externen Gewinne zu reduzieren, wurden zusätzlich außenliegende Raffstoren eingebaut. Trotz all dieser Maßnahmen sind die internen Lasten zu hoch und die aktive Kühlung wurde installiert.

Es handelt sich um eine kompakte Kühltowerstation mit solarer Absorptionskältemaschine, hergestellt von der Fa. Energy Cabin. Als Kältemaschine kommt eine handelsübliche Yasaki WFC-SC 5 Wasser/Lithium-Bromid Absorptionsmaschine mit 17,5 kW Nennkälteleistung zum Einsatz.

Für die Wärmebereitstellung dienen 57,6 m² (Bruttofläche) Hochtemperatur-Flachkollektoren der Fa. S.O.L.I.D. Über einen Wärmetauscher wird die Wärme in einen 2.000 l Heißwasserspeicher, über einen externen Schichtlader, eingebracht. Von dort wird die Wärme zum Austreiber der Kältemaschine (kühlen) oder in den Heizkreisverteiler der Heizzentrale (heizen) weitergeleitet. Im Kühlfall wird das Kaltwasser über eine hydraulische Weiche zum Heiz- (in diesem Fall Kühl-) kreisverteiler geleitet.

Die Wärmeabfuhr der Kältemaschine erfolgt über einen Hybrid-Kühlturm. Dieser Kühlturm kann auch, in Umgehung der Kältemaschine, zur stillen Kühlung des Heiz-(Kühl-) Kreisverteilers dienen. Das Besondere an der Anlage ist zum Einen die fehlende Nachheizung (aktive Kühlung nur bei Verfügbarkeit von Solarwärme), sowie die Nutzung des Kühlturms zur stillen Kühlung.



Abb. 1 – links: Außenansicht CoolCabin; rechts: Innenansicht CoolCabin
[Quelle: Fa. S.O.L.I.D]

1.2 Monitoring

Die Sensorik ist für die Auswertung nach IEA Task 28 – Level 3 [Sparber 2009] vollständig. Für die detaillierten Simulationen der Anlage werden zusätzliche Temperatur- und ein Luftfeuchtigkeitssensor benötigt. Die Anzahl der Wärmemengen- und Stromzähler konnte reduziert werden, indem die Aufteilung von gemeinsam gemessenen Pumpen bzw. Wärmemengen über die jeweilige Ventilstellung (z.B.: Heiz- oder Kühlfall) erfolgt.

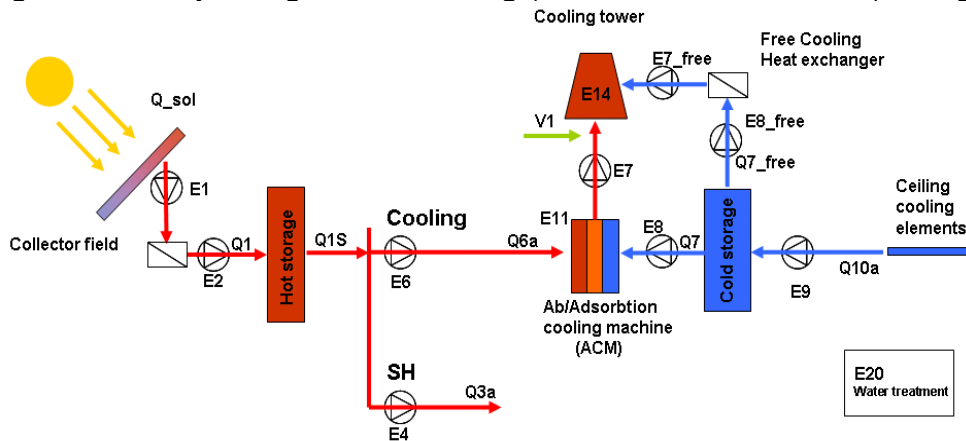


Abb. 2 – Monitoringschema der CoolCabin nach IEA Task 38-Level 3

Seit Juni 2009 ist das Monitoringsystem in Betrieb. Das Aufzeichnungsintervall für alle Datenpunkte beträgt eine Minute. Die Erfassung der Solarstrahlung erfolgt durch eine Istwert-Erfassung im Aufzeichnungsintervall. Es wird keine Mittelung über das Intervall vorgenommen.

1.3 Ergebnisse und Erkenntnisse

Die erste Kühlsaison (2009) hat folgende Ergebnisse und Erkenntnisse gebracht:

- Die Abstimmung der Anlage auf den Verbrauch ist entscheidend für einen effizienten Einsatz, sowohl in der Auslegung als auch im Betrieb (Regelung).
- Die hohen thermischen COP's (>0.6) übertreffen die Erwartung! Der Einfluss vom schnellen Takten der AKM auf den thermischen COP ist gering.
- Keine adäquate Regelung des Kühlturms (nur konstante Drehzahl des Ventilators anstelle von Drehzahlregelung) und Schwachpunkte in der Regelung, z.B.: Pumpenlaufzeiten zu hoch
- Resultierend ergeben sich sehr geringe elektrische COP's (<2), sowohl bei der thermischen Kühlung, als auch bei der stillen Kühlung.
- Das Verhältnis von thermischer (Q7) zu stiller Kühlung (Q_{free}) ist ca. 2/3 zu 1/3.

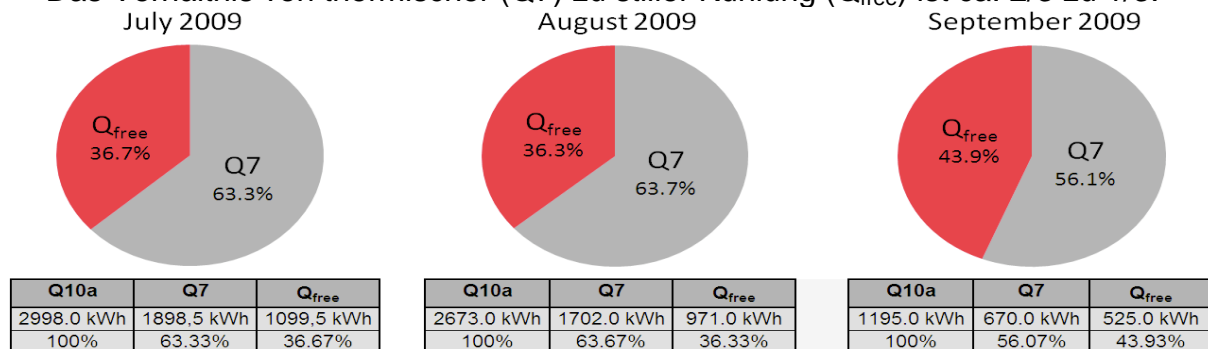


Abb. 3 - Aufteilung von thermischer und stiller Kühlung im Sommer 2009

- Die größten Stromverbraucher sind der Kühlturm (E14) und die Rückkühlpumpe (E7+E7_{free}). Diese beiden Verbraucher sind für ca. 3/4 des Gesamtstromverbrauchs verantwortlich.

Die Erkenntnisse aus der Kühlsaison 2009 wurden in folgenden, leicht realisierbaren (ohne großen Komponententausch) Verbesserungsmaßnahmen umgesetzt.

- (1) Wartung des Kühlturms Anfang Mai 2010
Deaktivierung der stillen Kühlung
- (2) Ende Mai 2010 erfolgten folgende Umstellungen in den Regelparametern
 - Vorlauftemperatur der Kühldecke von 17°C auf 15°C
 - Freigabetemperatur (Speicher oben) für Start der AKM von 75°C auf 88°C
- (3) Ende Juni 2010
 - Freigabetemperatur (Speicher oben) für Start der AKM von 88°C auf 80°C
 - Soll-Austritt Kühlturm (Rückkühltemperatur) von 29°C auf 31°C
 - Änderung der Regelstrategie des Kühlturms von on/off auf Drehzahlregelung

Der Einfluss dieser Maßnahmen ist in Abb. 4 ersichtlich.

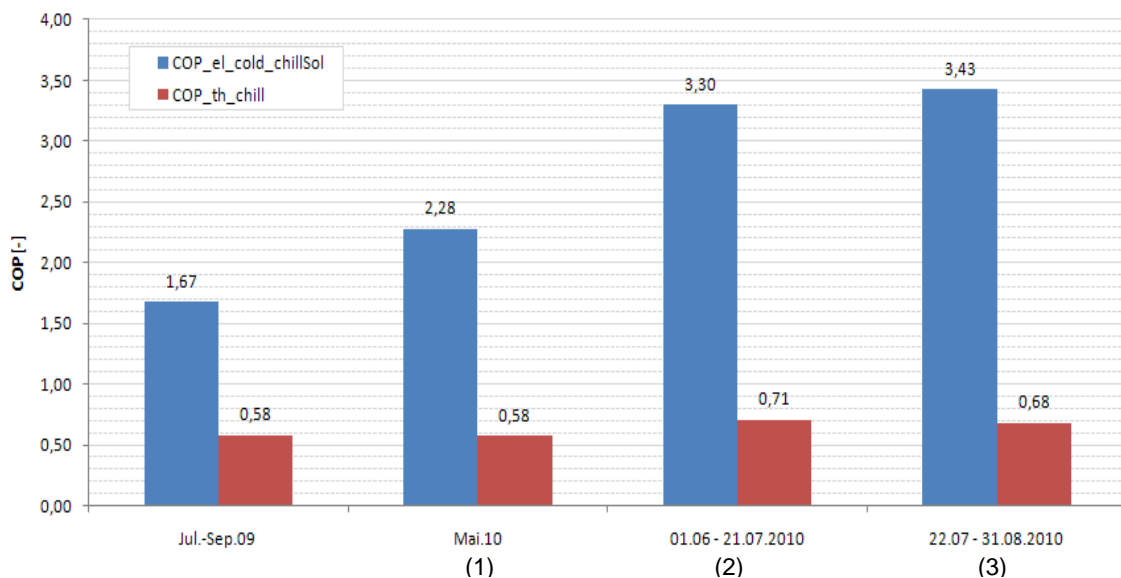


Abb. 4 – Vergleich des thermischen und elektrischen COP's von 2009 und 2010

Der Vergleich zwischen der ersten Kühlperiode (Juli bis Sept. 2009) und Mai 2010 (1), in welcher noch beide Modi -thermisch und stille Kühlung- aktiv waren, zeigt ein Plus von 36% des elektrischen COPs. Der thermische COP veränderte sich im gleichen Zeitraum nicht. Nach den zweiten Änderungen (2), welche hauptsächlich in den Sollwerten der Regelung durchgeführt wurden, erhöht sich der elektr. COP um weitere 44%. Nach der letzten Verbesserungsmaßnahme (Kühlturmregelung) stellt sich ein elektr. COP von 3,4 ein, was letztlich einem Plus von 105% gegenüber den Vorjahreswerten entspricht. Der thermische COP liegt nach allen Maßnahmen auf einem akzeptablen Wert von 0,68 Dies entspricht einer Zunahme von 17% gegenüber dem Ausgangswert.

Ein entscheidender Faktor für die Verbesserungen sind die höheren Lasten (Wetter) bzw. Kühlleistungen (Soll- bzw. Freigabe-Temperaturen, Regelung, usw.), die die AKM bereitstellen konnte.

2 Fa. Bachler, Gröbming

2.1 Anlagenbeschreibung

Diese Anlage ist eine Nachrüstung eines bestehenden Heizungssystems. Mehrere Kollektorfelder mit insgesamt 46 m² und 45 ° nach Süden geneigter Flachkollektorfläche speisen über einen Wärmetauscher drei Pufferspeicher mit je 1.500 l. Die Pufferspeicher können wahlweise geladen werden. Aus den Pufferspeichern heraus werden eine Frischwasserstation (Durchlauferhitzer), die Heizkreisverteiler, der Austreiber der Absorptionskältemaschine, sowie fallweise ein Schwimmbad versorgt. Als Nachheizquelle für alle Wärmesenken dient ein Nahwärmeanschluss, der aber nicht in die Pufferspeicher lädt.

Als Kältemaschine kommt ein 12 kW Pink-Chiller (Ammoniak/Wasser -Absorptionskältemaschine) zum Einsatz. Es gibt kein Kälte-Back-Up. Zur Regeneration kann die Nahwärmeversorgung als Wärme-Back-Up verwendet werden. Der Kühlturm (Axima EWK 036/06) hat eine nominelle Stromaufnahme von 330 W bei einer Rückkühlleistung von 25 kW. Die Ausführung erfolgte als offener Nasskühlturm.

Das Gebäude hat 700 m² Nutzfläche. Die Kälte wird über betonkernaktivierte Decken mit Vor-/Rücklauftemperaturen von 16/19 °C betrieben.

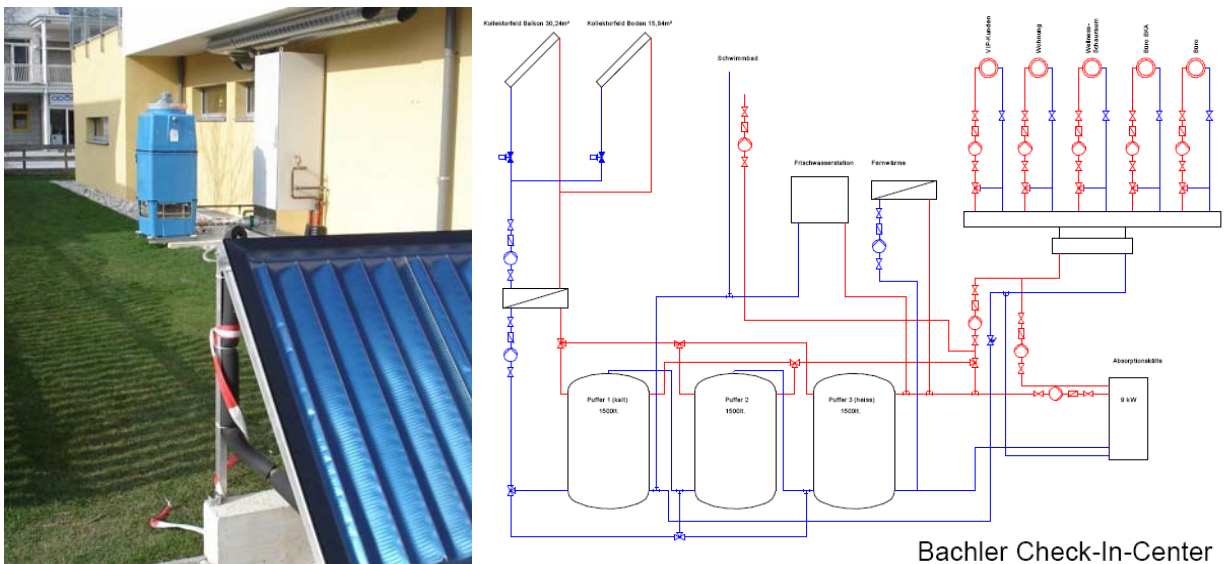


Abb. 5 – links: Außenansicht mit Blick auf Kühlturm und Kältemaschine, rechts: Schema der Einbindung der Solaranlage mit Speicherbeladung und der solaren Kälte in das Verteilernetz, unten: Außenansicht der Fa. Bachler [Quelle: Fa. Bachler]

2.2 Monitoring

Für die Auswertung nach IEA Task 38-Level 3 [Sparber 2009] sind die Messsensoren vollständig. Zur Einsparung von Sensoren werden folgende Verbraucher nur durch einen Sensor erfasst:

- E7 + E14 (Kühlturm und Rückkühlpumpe)
- E6 + E8 + E11 (Regenerationspumpe, Kälteverteilung und Kältemaschine)

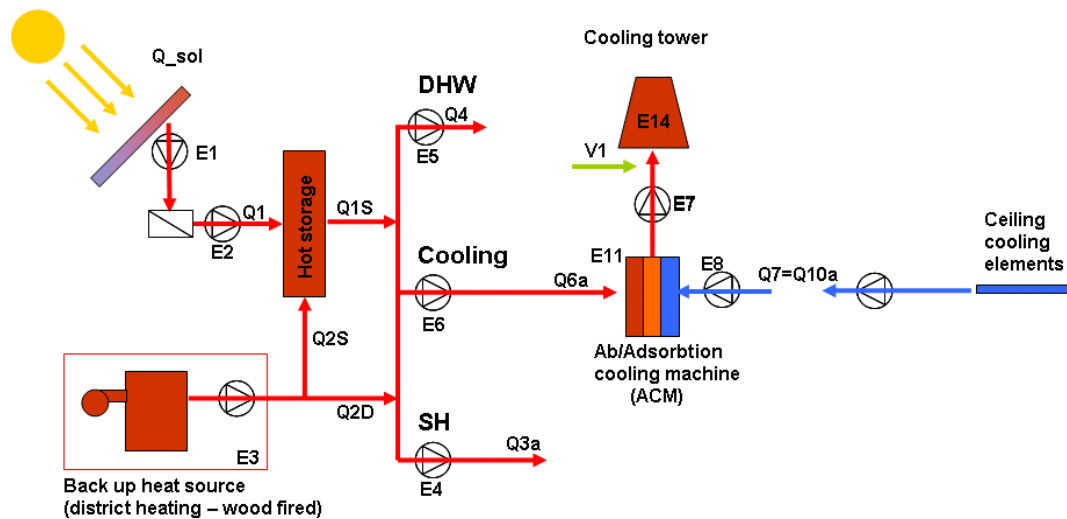


Abb. 6 – Monitoringschema bei Fa. Bachler

In Q3a (Wärmeversorgung) ist die Wärmemenge für Heizung und Schwimmbad enthalten. Eine Trennung erfolgt durch die separate Aufzeichnung der Pumpen von Heizung und Schwimmbad. Dies ist derzeit aber nicht notwendig, da das Schwimmbad nicht beheizt wird.

Das Monitoringsystem besteht aus zwei unabhängigen Datenerfassungssystemen. Zur reinen Datenaufzeichnung wird ein System der Fa. RKG eingesetzt. In diesem erfolgt die Messung der Wärme- und Strommengen, sowie der Außentemperatur und Außenluftfeuchtigkeit. Das zweite System (Technischen Alternative, TA) ist für die Regelung der Anlage verantwortlich, wird aber auch für das Monitoring der internen Parameter (Speicher-, Solar-Temperaturen, usw.) genutzt. Alle Daten bzw. Signale, welche zur Regelung notwendig sind (Temperaturen) und von der Regelung an die Aktoren ausgegeben werden, werden aufgezeichnet.

2.3 Ergebnisse und Erkenntnisse

- Hoher durchschnittlicher thermischer COP (ca. 0,6)
- Akzeptable durchschnittliche elektrische COPs (>3)
- Das Speichermanagement ist entscheidend für den Betrieb der AKM. Die drei Speicher zu je 1.500l werden im Standardfall (Heizung, Warmwasser) über Ventile entsprechend geladen. Die für einen durchgehenden Betrieb der AKM notwendige geringe Temperaturspreizung auf hohem Niveau (>70°C) kommt in dieser Betriebsweise nicht zu Stande. Durch Wegschalten der beiden kälteren Speicher wird eine längere, effizientere Laufzeit der AKM möglich. Die Umschaltung auf diese Betriebsweise erfolgt manuell.

-
- Inbetriebnahme der AKM erfolgt zu Beginn vollautomatisch auf Grund von Soll- und Ist-Temperaturen in den Räumen bzw. der Speichertemperatur. Der hohe Sollwert (26°C) im Wellnessbereich verhinderte die Aktivierung der Kühlung.
 - Auf Grund überlappender Hysterese-Grenzen des Heiz- bzw. Kühlbetrieb wurde wie oben angeführt gar kein, bzw. auch ein paralleler Betrieb von Heizen und Kühlen ermöglicht!
 - Auf Grund der Nachrüstung der thermischen Kältemaschine sind Kollektoren und AKM nicht ideal aufeinander abgestimmt (low vs. highflow). Im Sommerbetrieb werden die Kollektoren mit maximalem Durchfluss betrieben (höherer elektr. Verbrauch, aber bessere Anpassung an die Anforderung der AKM).
 - Die Trennung von Monitoring und Regelung bringt in diesem Fall unnötige Komplikationen bei der Auswertung und Analyse des Gesamtsystems mit sich. Eine Trennung wäre nicht erforderlich! Beide Systeme (RKG, TA) könnten jeweils beide Aufgaben (Regelung und Datenerfassung) übernehmen.
 - Durch die Systemkonfiguration mit drei 1.500 l Speichern und verhältnismäßig langen Rohrleitungen kommt es im System zu Systemverlusten (ca. 30 kWh/d). Im Vergleich dazu beträgt die durchschnittlich benötigte Warmwasserwärmemenge gerade 25 kWh/d!

Auf Grund der geringen Laufzeiten in den Kühlperioden 2010 und 2011, einerseits durch die Wetterbedingungen, andererseits durch Regelprobleme und zusätzlichen Störungen in der AKM, können kaum aufschlussreiche Aussagen über die getätigten Verbesserungsmaßnahmen getroffen werden.

3 Zusammenfassung und Resümee

Die Anwendung beider Anlagen ist dieselbe – Büronutzung mit relativ hohen Vorlauftemperaturen zum Abgabesystem hin. Bei diesen Bedingungen sollte zumindest ein elektrischer COP von >5 zu erwarten sein.

Zusammengefasst können folgende wichtigen Schwachpunkte bzw. Aspekte für beide Anlagen angeführt werden, welche bei zukünftigen Realisierungen berücksichtigt werden sollten:

- Hohe Systemverluste
 - Anlage 1: Solarseitig und Rückkühlung
 - Anlage 2: Speicher
 - Regelungstechnisch
 - Generell: Keine Anpassung der Pumpen bei Teillastverhalten resultiert in geringen elektrischen COPs (Abb. 8)
 - Anlage 2: zusätzlich schwache Ausführung zw. Sommer/Winterbetrieb
 - Schwachpunkte in der Systemkonfiguration
 - Anlage 1: Kühlturm mit schlechtem spez. elektr. Kenndaten; überdimensioniert
 - Anlage 2: Speichermanagement und Solarmassenstrom/AKM Austreiber
 - Geringe Betriebsstunden bzw. Vollaststunden; Als Beispiel sind die drei Betriebsjahre der Anlage 1 in Abb. 7 angeführt.
 - Die Absorptionskältemaschinen arbeiten zuverlässig und liefern gute Betriebsdaten (thermische COPs)
-

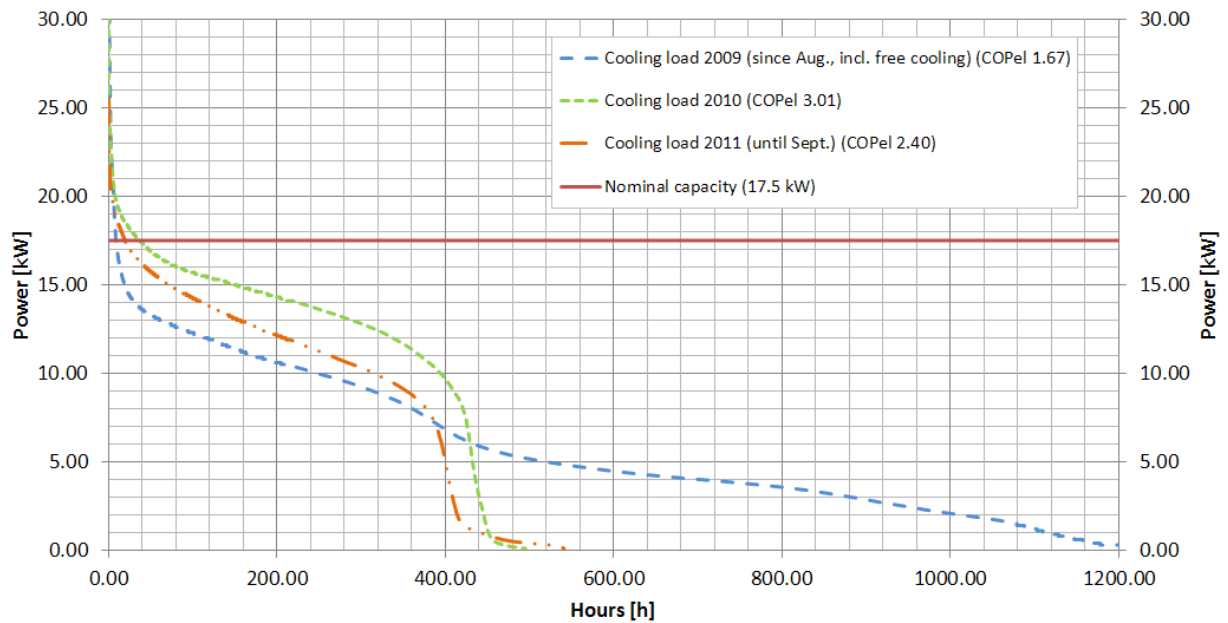


Abb. 7 – Jahresdauerprofil der produzierten Kälteleistung der Anlage 1 für alle 3 Kühlperioden (2009 / 10 / 11)

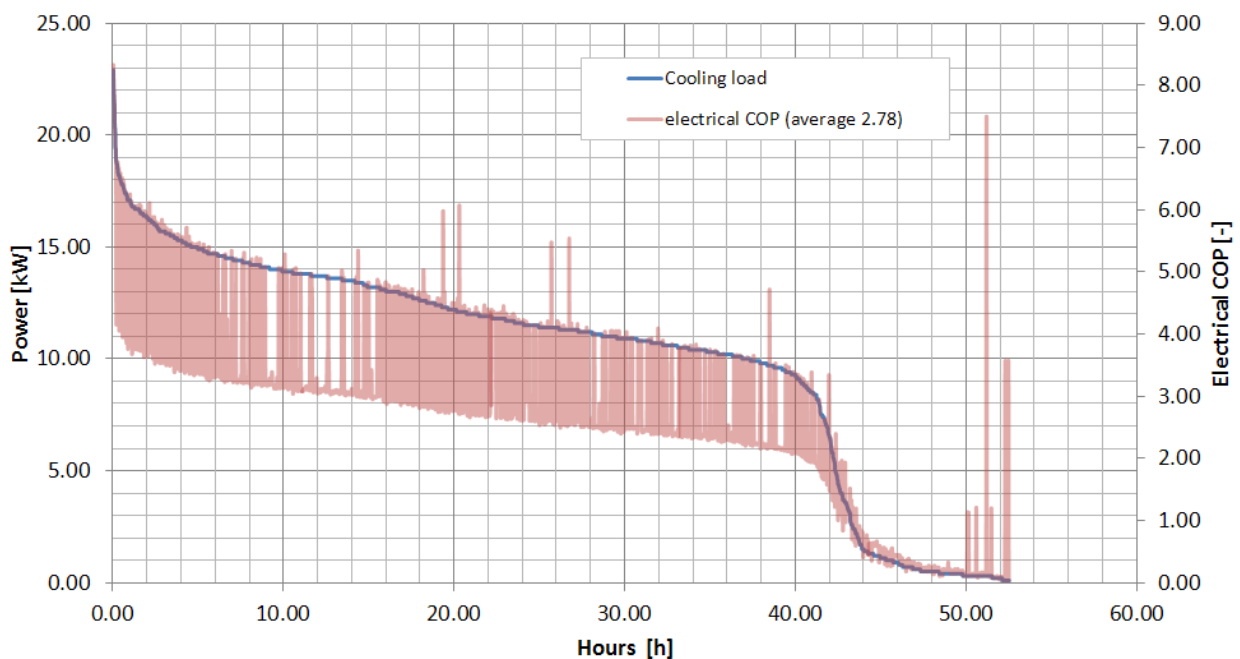


Abb. 8 – Zusammenhang des elektrischen COPs und der produzierten Kälteleistung der Anlage 1 für eine Periode von 10 Tagen im Sept. 2011

4 Literatur

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