



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

ABWÄRMENUTZUNG IN DER GEWERBLICHEN KÄLTE

ENERGETISCHE ANALYSE VON ZWEI VERKAUFSSTELLEN

Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

Markus Erb, Dr. Eicher+Pauli AG

Gräubernstrasse 14, 4410 Liestal, markus.erb@eicher-pauli.ch, www.eicher-pauli.ch

Stephan Gutzwiller, Dr. Eicher+Pauli AG

Gräubernstrasse 14, 4410 Liestal, stephan.gutzwiller@eicher-pauli.ch,
www.eicher-pauli.ch

§

Impressum

Datum: September 2009

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Forschungsprogramm UAW Umgebungswärme, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte

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-Programmleiter F&E: Thomas Kopp tkopp@hsr.ch

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns andreas.eckmanns@bfe.admin.ch

Projektnummer: 101'544

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch

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

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Summary	5
1 Ausgangslage	6
2 Ziel der Arbeit	7
3 Methodik	8
3.1 Messintervalle	8
3.2 Definition ETV	9
4 Anlagenbeschreibung und Messkonzept	10
4.1 Migros, Worb	10
4.2 Coop, Sursee	11
5 Ergebnisse	12
5.1 Migros, Worb	12
5.2 Coop, Sursee	16
6 Diskussion	19
6.1 Erkenntnisse	19
6.2 Planungshinweise	20
7 Abkürzungen	21
8 Anhang	22
8.1 Migros, Worb: Prinzipschema mit Messstellen	22
8.2 Coop, Sursee: Prinzipschema mit Messstellen	24
8.3 Fehlerrechnung	26

Zusammenfassung

Vertreter der Kältebranche, insbesondere aus dem Lebensmittelbereich, vertreten häufig die Meinung, dass sich Abwärmenutzung (AWN) nicht lohnt.

Mittels Feldmessungen an zwei Anlagen - je eine Verkaufsstelle von Migros und Coop - wurden die realen Verhältnisse untersucht. Dabei wurde ermittelt, welches Verhältnis sich aus Strommehrverbrauch und der genutzten Wärmemenge ergibt. Dieses Verhältnis wird ETV (elektrothermischer Verstärkungsfaktor) genannt. Zur Interpretation von ETV-Werten können beispielsweise Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpen verwendet werden, welche das gleiche Verhältnis darstellen. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass Werte über 3 als ökologisch / energetisch gut und Werte über 5 als sehr gut zu betrachten sind.

Die Migros-Anlage besteht aus zwei weitgehend getrennten Anlagen für Plus- und Minuskälte (PK und MK). Ausgewertet werden konnten aber nur die PK und die Gesamtanlage. Die Coop-Anlage ist nach dem Kaskadenprinzip aufgebaut, und somit kann nur die Plusanlage untersucht werden.

Aus den Messungen konnten folgende ETV ermittelt werden:

Resultate		ETV
Migros, Worb	Gesamtanlage	24
	Pluskälte	17
Coop, Sursee	Pluskälte	8

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass die gefundenen ETV als sehr gut zu bezeichnen sind. AWN ist bei beiden Anlagen ökologisch / energetisch sehr sinnvoll.

Weiter hat sich gezeigt, dass nicht nur die Anhebung der Verflüssigungstemperatur einen wesentlichen Einfluss auf den ETV hat. Aus diesem Grund können die hier gefundenen ETV auch nicht als repräsentativ für gewerbliche Kälteanlagen im Allgemeinen betrachtet werden.

Ein hoher ETV wird erreicht, wenn folgende Grundsätze in Planung und Betrieb berücksichtigt werden:

- Das Wärmeabgabesystem ist auf tiefstmögliche Temperaturen auszulegen. Die Anhebung der Verflüssigungstemperatur soll auf ein Niveau erfolgen, welches unter Einbezug der Antriebsenergie des Abgabesystems, zu einem minimalen Stromverbrauch führt.
- Die Wärme, welche auf angehobenem Temperaturniveau erzeugt wird, wird vollständig genutzt. Der heizungsseitige Verflüssiger ist so auszulegen, dass er die gesamte Wärmeleistung der Kompressoren aufnehmen kann.
- Zu häufiges Umschalten von Rückkühl- zu AWN-Betrieb soll vermieden werden. Ein AWN-Speicher ist bei massearmen (flinken) Abgabesystemen vorzusehen.
- Pumpen und Ventilatoren im Rückkühlsystem sind optimal, d.h. bedarfsgerecht zu betreiben.

Summary

Representatives of the refrigeration industry are often of the opinion that heat recovery is not worth the effort.

By means of field measurements on two installations in supermarkets of Migros and Coop, the efficiency of heat recovery was determined. To do so, the gain of heat by the heat recovery was compared with the additional consumption of electric energy. This relation is called electro-thermal amplification factor (ETV). The ETV can be interpreted as the Seasonal Performance Factor (SPF) of heat pumps which represents the same relation. It can be assumed that values above three are energetically / ecologically good and values above five very good.

The Migros-installation consists of two separate units for "plus" and "minus" refrigeration. Only the plus and the total installation could be interpreted. The installation of Coop is configured as a cascade, therefore only the "plus" part could be evaluated.

The measurements lead to the following findings:

Results		ETV
Migros, Worb	Total	24
	Plus	17
Coop, Sursee	Plus	8

Basically it can be stated that the found ETV are very good. Heat recovery is in both installations energetically / ecologically very efficient.

Furthermore it was seen that not only the raise of the condensation temperature does substantially influence the ETV. Therefore the here stated ETV are not representative for all refrigeration installations in supermarkets.

A high ETV can be achieved when the following principles are considered in design and operation:

- The heat dissipation system is designed to work with temperatures as low as possible. The condensation temperature should be raised to a level which, considering also the energy consumption of pumps and fans, results in a minimal electrical energy consumption.
- The heat which is produced on an increased temperature level has to be completely used. The heating side condenser has to be designed to receive the whole heating power of the compressors.
- A too often switching between recooling and heat recovery has to be avoided. In the case of quick (low mass) heat dissipation systems, a storage tank for the heat recovery is recommended.
- Pumps and fans of the recooling system have to be controlled in an optimal way, which means need-driven.

1 Ausgangslage

Vertreter der Kältebranche, insbesondere aus dem Lebensmittelbereich, vertreten häufig die Meinung, dass sich Abwärmenutzung (AWN) nicht lohnt. Es wird begründet, dass die Anhebung der Verflüssigungstemperatur zu einem starken Anstieg des Stromverbrauchs der Kompressoren führt. Dieser Strommehrverbrauch wird gemäss dieser Meinung, nicht durch die nutzbar gemachte Wärme kompensiert.

In sehr vielen Fällen besteht jedoch während einem grossen Teil des Jahres ein paralleler Kälte- und Wärmebedarf. So könnte die Abwärme aus Kälteanlagen bei genügend hohem Temperaturniveau z.B. für die Lufterwärmung oder Aktivierung der Gebäudemasse (TABS) verwendet werden und die gesamte Energiebilanz verbessert werden. Theoretische Berechnungen zeigten, dass die AWN bei gewerblichen Kälteanlagen einen elektrothermischen Verstärkungsfaktor (ETV) von 10 bis 25 erreicht - abhängig von Verdampfungs- und Verflüssigungstemperatur. Diese Werte können beispielsweise mit dem COP von Wärmepumpen verglichen werden, die üblicherweise deutlich tiefer liegen.

2 Ziel der Arbeit

Mittels Feldmessungen an zwei Anlagen wurde im Rahmen dieses Projektes untersucht, wie sich der oben beschriebene Sachverhalt in der Praxis tatsächlich verhält. Während einem Jahr wurden die Betriebsdaten der beiden Anlagen in den Zuständen mit resp. ohne AWN-Betrieb messtechnisch erfasst.

Hauptprojektziel war der Nachweis an realen Anlagen, dass AWN trotz höherer Verflüssigungstemperatur energetisch sinnvoll ist. Die Ergebnisse sollen als Entscheidungsbasis für Planer und Bauherren von Anlagen im Bereich der gewerblichen Kälte dienen.

3 Methodik

3.1 MESSINTERVALLE

Die ursprüngliche Idee war, in relativ kurzen Perioden die Abwärmenutzung für die Heizung ein- und auszuschalten. In der Praxis hat sich gezeigt, dass dies aus verschiedenen Gründen nicht praktikabel ist: Mehrere Akteure (getrenntes Ausschalten der AWN-Pumpen und der Anhebung der Verflüssigungstemperatur), grosser administrativer Aufwand (Information aller Verantwortlichen). Bei der Migros-Anlage hat sich im Betrieb zusätzlich gezeigt, dass ein Wärmebezüger (kleine Lüftungsanlage) nur über die Abwärmenutzung versorgt wird. Schon aus diesem Grund konnte hier die Abwärmenutzung im Winter nicht ausgeschaltet werden.

Es wurde deshalb entschieden, nur Daten aus Perioden mit eingeschalteter AWN auszuwerten. Die Überlegung dabei ist, dass auch in diesem Betriebszustand der grösste Teil der Abwärme rückgekühlt wird. D.h. bei eingeschalteter AWN werden Betriebszustände mit und ohne Abwärmenutzung, resp. mit und ohne Anhebung der Verflüssigungstemperatur erfasst. Diese können dann separat bezüglich dem energetischen Aufwand zur Rückkühlung resp. zur Nutzung ausgewertet werden.

Da die untersuchte AWN nur für die Raumheizung verwendet wird, ist nur die Heizperiode relevant. Aus diesem Grund wurden nur Intervalle mit einer Aussentemperatur von maximal 15°C ausgewertet.

3.2 DEFINITION ETV

Elektrothermischer Verstärkungsfaktor (ETV)

- In einem ersten Schritt wird für den Betriebszustand mit und ohne AWN der mittlere spezifische Strombedarf zum Abführen der Wärme berechnet, d.h. Gesamtstromverbrauch (inkl. Rückkühlsystem) dividiert durch Kältemenge:

$$E.\text{Spez.Kälte} = E.\text{tot} / K.\text{tot} \quad (1)$$

- Im zweiten Schritt wird mittels der beiden spezifischen Strombedarfswerte der absolute Mehrstromverbrauch im AWN-Betriebszustand berechnet, d.h. Differenz des spezifischen Verbrauchs mal Kälteproduktion im AWN-Betriebszustand:

$$E.\text{AWN} = (E.\text{Spez.Kälte.mAWN} - E.\text{Spez.Kälte.oAWN}) * K.\text{tot.mAWN} \quad (2)$$

- Der ETV berechnet sich dann mittels Division des absoluten Mehrstromverbrauchs mit der genutzten Abwärme:

$$\text{ETV} = Q.\text{Heizung} / E.\text{AWN} \quad (3)$$

- Die Kältemenge K.tot wird für die beiden Betriebszustände jeweils berechnet aus den gemessenen Wärmemengen und dem Stromverbrauch der Kompressoren:

$$K.\text{tot} = (Q.\text{Rückkühlung} + Q.\text{Heizung} + Q.\text{BWW}) - E.\text{Komp} \quad (4)$$

Legende

E.Komp	[kWh]	Stromverbrauch der Kompressoren
E.Spez.Kälte	[-]	Spezifischer Strombedarf zum Abführen von Wärme
E.AWN	[kWh]	Mehrstromverbrauch im AWN-Betriebszustand
E.tot	[kWh]	Stromverbrauch total (Kompressoren und Antriebe der Rückkühlung)
K.tot	[kWh]	Totale Kältemenge
Q.BWW	[kWh]	Durch AWN genutzte Wärmemenge für Brauchwarmwasser
Q.Heizung	[kWh]	Durch AWN genutzte Wärmemenge für Heizung
Q.Rückkühlung	[kWh]	Wärmemenge die über die Rückkühlung abgeführt wird
m.AWN		Mit Abwärmenutzung
o.AWN		Ohne Abwärmenutzung

Wird nicht die ganze Enthitzungswärme für die Brauchwassererwärmung benötigt, dann kann auch hochtemperaturige Wärme an die Heizung abgegeben werden, ohne dass die Verflüssigungstemperatur angehoben werden muss. Dieser Effekt wird hier nicht separat betrachtet und die so genutzte Wärme ist in Q.Heizung und somit im ETV enthalten.

4 Anlagenbeschreibung und Messkonzept

4.1 MIGROS, WORB

Hier sind zwei separate Anlagen (Minus- und Pluskälte, MK und PK) installiert, welche über eine gemeinsame Rückkühlung verfügen.

Tabelle 1: Daten der GWK-Anlage im Migros, Worb.

Kälteanlage		Minuskälte	Pluskälte
Kälteleistung	[kW]	58	167*
Unterkühlerleistung	[kW]	29	-
Verdampfungstemperatur	[°C]	-38.0	-11.5
Anzahl Kompressoren	[Stk.]	4	4
Leistungsstufen	[Stk.]	16	16
Kältemittel	[-]	R404A	R404A

AWN-Anlage			
Enthitzungsleistung-BWW**	[kW]	21	41
Verflüssigerleistung Heizung	[kW]	80	265

*inkl. Unterkühlerleistung

**Brauchwarmwasser

Eine Verbindung zwischen den beiden Anlagen bildet der Unterkühler der MK, wo Wärme von der MK an die PK abgegeben wird.

Wie Messstellenplan und -tabelle im Anhang zeigen, werden die beiden Anlagen separat gemessen. Zu Projektbeginn waren die Anlagen lediglich mit den Wärmezählern der totalen BWW- und PWW-Wärmemenge ausgerüstet.

Da bei Messbeginn davon ausgegangen wurde, dass der Unterkühler während der Messung ausgeschaltet werden kann, wurde dieser aus Kostengründen nicht mit einem Wärmezähler ausgerüstet. Während der Messung entschieden die Betriebsverantwortlichen, kein Risiko einzugehen, weshalb der Unterkühler immer in Betrieb war. Der Unterkühler verschiebt Wärme von der MK-Warmseite auf die PK-Kaltseite, d.h. Abwärme der MK wird zu einer Wärmelast der PK. In der Auswertung der Messdaten ist die vom Unterkühler übertragene Wärmemenge in der Kälteleistung der PK enthalten (Differenz aus Abwärme der PK und Stromaufnahme der PK-Verdichter). Da der Anteil wie erwähnt nicht gemessen wurde, ist aber die Abwärme der MK und somit deren Kälteleistung nicht ermittelbar. In der Messung der MK fehlt also die Unterkühlerleistung auf der Abwärme- und der Kälteseite. Da die Leistung des Unterkühlers variabel ist, kann die MK-Anlage nicht separat ausgewertet werden.

4.2 COOP, SURSEE

Die GWK-Anlage funktioniert hier nach dem Kaskadenprinzip, d.h. die gesamte Abwärme der MK wird an die Kaltseite der PK abgegeben.

Da entsprechend nur AWN ab der PK stattfindet, wurde nur dieser Anlagenteil ausgemessen. Messstellenplan und -tabelle finden sich im Anhang.

Tabelle 2: Daten der GWK-Anlage im Coop, Sursee.

Kälteanlage		Pluskälte
Kälteleistung	[kW]	182
Unterkühlerleistung	[kW]	-
Verdampfungstemperatur	[°C]	-11.5
Anzahl Kompressoren	[Stk.]	4
Leistungsstufen	[Stk.]	4
Kältemittel	[-]	R404A
<hr/>		
AWN-Anlage		
Enthitzungsleistung BWW*	[kW]	39
Verflüssigerleistung Heizung	[kW]	186

*Brauchwarmwasser

Die durch das Projekt nachgerüsteten Messgeräte umfassten zwei Wärmezähler (Abwärme RKS PK, Abwärme BWW PK) und zwei Elektrozähler (Energieaufnahme Verdichter PK, Energieaufnahme Ventilatoren RKS PK).

5 Ergebnisse

5.1 MIGROS, WORB

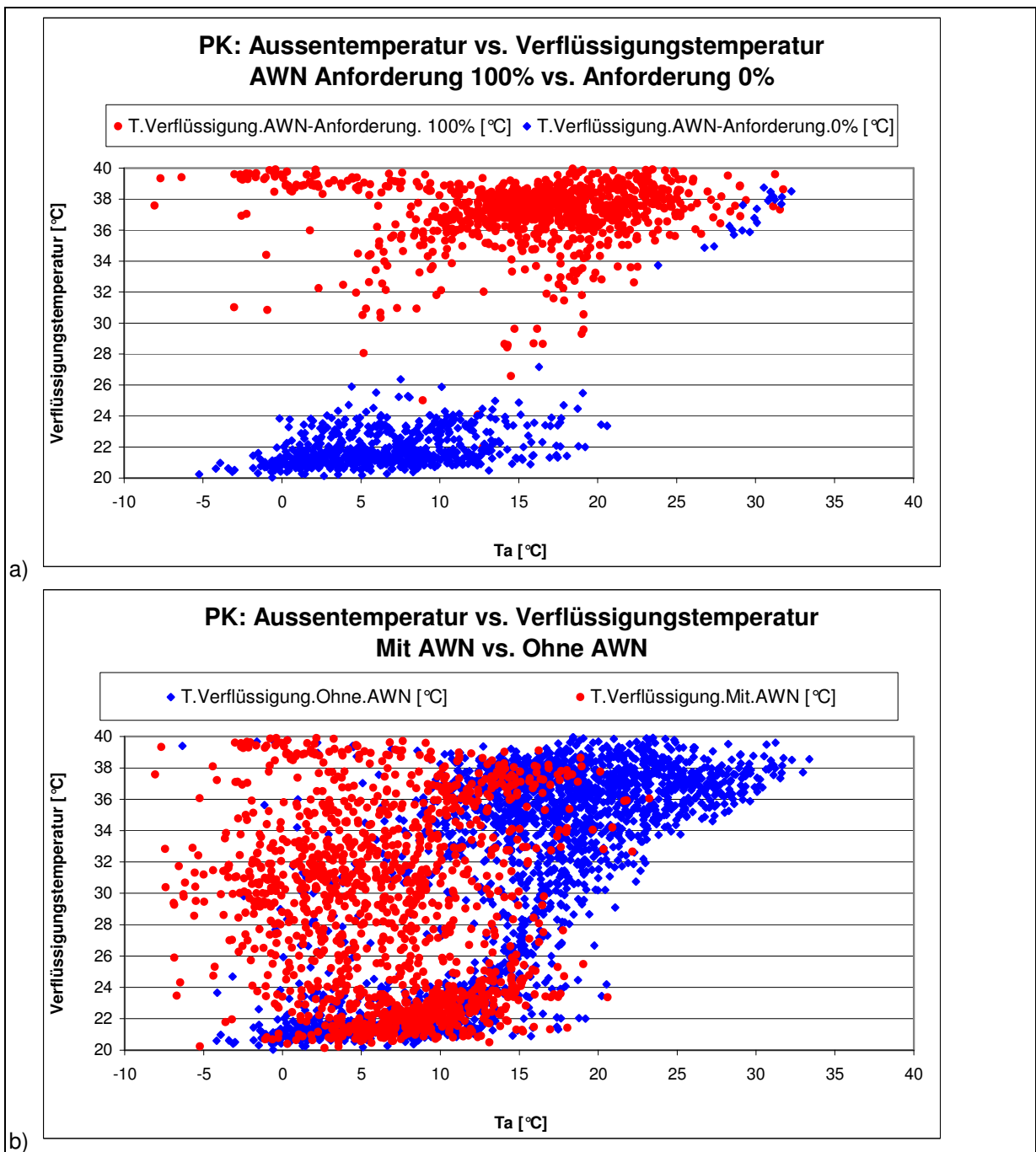
Wegen grösseren Problemen mit den Wärmehählern im Rückkühlkreis liegen korrekte Messdaten erst ab Februar 2008 vor. Ausgewertet wurden die beiden Perioden „AWN Ein“.

Tabelle 3: Messintervalle Migros, Worb.

Messintervalle		
	Anfang	Ende
AWN Ein 1	02.02.2008	28.04.2008
AWN Aus	28.04.2008	11.11.2008
AWN Ein 2	13.11.2008	05.01.2009

5.1.1 Temperaturen

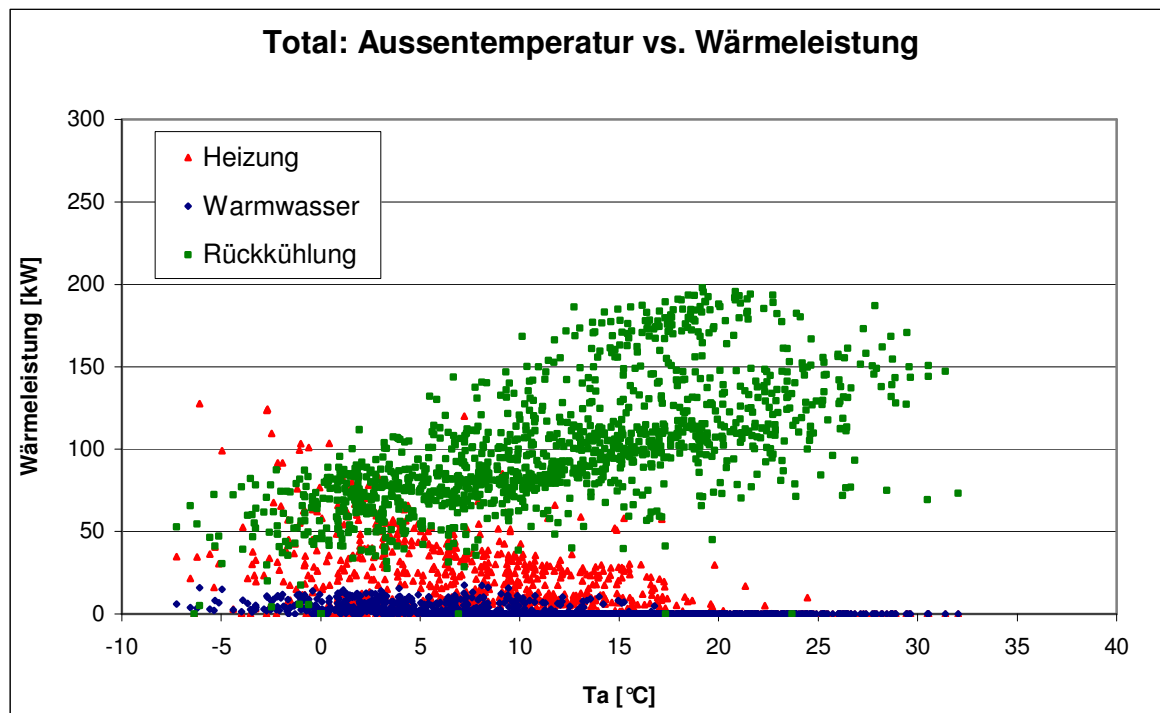
Figur 1 zeigt die Verflüssigungstemperaturen a) mit (100 %) und ohne (0 %) AWN-Anforderung durch das Leitsystem und b) mit und ohne AWN. Die Graphiken basieren auf 2 h-Intervallen. Der Grund für die grosse Streuung der Verflüssigungstemperaturen in Perioden, in welchen AWN stattfand (b) ist, dass diese Temperaturen Mittelwerte über die 2 h-Intervalle darstellen, es handelt sich also grossteils um Mischbetrieb aus Rückkühlung und AWN. In beiden Graphiken ist auch die Anhebung der Verflüssigungstemperatur im Rückkühlbetrieb bei Aussentemperaturen ab ca. 12°C erkennbar. In Figur 1a ist zur erkennen, dass die Anhebung der Verflüssigungstemperatur nicht aussentemperaturabhängig vorgenommen wird. Der Grund ist, dass eine energetische Gesamtanalyse ergab, dass bei höheren Vorlauftemperaturen auf das Wärmeabgabesystem (Umluftheizapparate), deutlich weniger Ventilatorantriebsenergie gebraucht wird. Diese Einsparung ist höher als der Mehrverbrauch der Kompressoren durch die höhere Verflüssigungstemperatur.



Figur 1: Verflüssigungstemperaturen (2 h-Mittel) der Pluskälteanlage a) mit und ohne AWN-Anforderung (100 %, resp. 0 %) und b) mit und ohne AWN.

5.1.2 Abwärmenutzung

Die in Figur 2 dargestellten Wärmeleistungen zeigen das erwartete Bild: Ein relativ geringer, konstanter Anteil Warmwasser (5 %) und ein aussentemperaturabhängiger Anteil für die Heizung. In jedem Fall bleibt die Rückkühlung die dominante Wärmesenke. Insgesamt werden bei dieser Anlage während der Heizperiode ca. 25 % der Abwärme der GWK-Anlage für die Raumheizung genutzt und entsprechend 70 % rückgeköhlt. Die Leistung an die Heizung zeigt, insbesondere wenn über mehrere Stunden gemittelt wird, einen klaren Zusammenhang mit der Aussentemperatur. Bei Auslegebedingungen liegt diese bei 140 - 180 kW.



Figur 2: Wärmeleistungen der Gesamtanlagen (MK und PK, 6 h-Mittel). Auch im Winter wird ein Grossteil der Abwärme rückgeköhlt. Die Abwärmenutzung durch das Warmwasser liegt bei ca. 5 %. Die Leistung an die Heizung liegt bei Auslegebedingungen bei 140 - 180 kW.

5.1.3 ETV

In den Tabellen 4 und 5 sind die Ergebnisse der Messungen für die Gesamt- und die PK-Anlage dargestellt. Aus den erwähnten Gründen ist eine Auswertung der MK-Anlage nicht möglich. Die Temperaturen, welche bei der Gesamtanlage ausgewiesen werden, sind berechnete Mittelwerte aus den Messwerten der PK- und MK-Anlage.

Bei der Verflüssigungstemperatur zeigen sich die erwarteten Verhältnisse, d.h. deutlich höhere Werte während des AWN-Betriebes. Alle ausgewiesenen Temperaturen sind Mittelwerte über die gemessenen Perioden. Dass die mittlere Verflüssigungstemperatur bei „mit AWN“ tiefer als die Vorlauftemperatur der Heizung ist, liegt daran, dass in den Intervallen auch teilweise rückgeköhlt wurde (vgl. Figur 1).

Interessant ist auch, dass bei der PK-Anlage die Kälteleistung in den Intervallen „mit AWN“ deutlich höher ist als bei „ohne AWN“. Der Grund dafür sind die morgendlichen Bedarfsspitzen. Zwischen 7.00 und 11.00 Uhr wird Montag bis Samstag parallel überdurchschnittlich stark geköhlt und geheizt. Die Messdaten zeigen, dass bei hoher Leistung der Gütegrad der Kälteanlage steigt. Da ein positiver Zusammenhang zwischen Gesamtleistung und AWN besteht, ergibt sich für die Intervalle „mit AWN“ ein um 7 % geringerer Stromverbrauch als gemäss Kompressordaten erwartet.

Der Stromverbrauch der Rückkühlung bezeichnet die Summe aus Rückköhlpumpen und Rückköhlventilatoren. Letztere wurden als Summe von MK und PK gemessen und mittels der jeweiligen Rückköhlwärmemenge aufgeteilt. Die AWN-Pumpen (BWW- und PWW-Verteilpumpen) wurden nicht erfasst. Der spezifische Stromverbrauch der Rückkühlung (Stromverbrauch dividiert durch rückgeköhlte Wärmemenge) sinkt vom „ohne AWN“ zum „mit AWN“-Betrieb um mehr als 20 % ab. Dies wirkt sich positiv auf den ETV aus.

In den Intervallen mit AWN liegt der Anteil an durch die Heizung genutzter Abwärme bei 33 % (Gesamtanlage), resp. 35 % (PK). Die Wärmemenge, welche auf angehobenem Temperaturniveau auf den Rückköhler geht, kann aus den Daten nicht exakt bestimmt werden (Datenaufösung zu gering). Eine Schätzung ergab, dass etwa ein Drittel der auf hohem Niveau kondensierten Wärme rückgeköhlt wird.

Die resultierenden ETV liegen für die Gesamtanlage bei 24 ± 4 und für die PK-Anlage bei 17 ± 2 (Fehlerrechnung im Anhang 8.3.1). Diese Werte entsprechen in etwa dem Erwartungswert, welcher aus den oben beschriebenen Messdaten abgeleitet werden kann.

Tabelle 4: Übersicht der Betriebsparameter der Gesamtanlage im Betrieb mit und ohne AWN.

Legende: El.Verbrauch: Stromverbrauch; Spezifischer El.Verbrauch Kälte: El.Verbrauch Total / Wärmeproduktion Total; El.Verbrauch AWN: Mehrstromverbrauch zur Gewinnung der Heizwärme (AWN Heizung). Spezifischer El.Verbrauch Rückkühlung: El.Verbrauch Rückkühlung / Wärme an Rückkühlung.

Gesamtanlage (PK und MK)		ohne AWN		mit AWN	
Betrachtungsperiode	[h]	870		1830	
Aussentemperatur	[°C]	4.9		4.7	
T.verdampfung	[°C]	-18.5		-18.0	
T.verflüssigung	[°C]	22.1		29.7	
Kälteproduktion Total	[kWh]	52'171	100%	155'846	100%
Kälteleistung Mittel	[kW]	60		85	
Wärmeproduktion Total	[kWh]	70'698	136%	220'262	141%
Wärmeleistung Mittel	[kW]	81		120	
El.Verbrauch Rückkühlung	[kWh]	4'145	8%	6'375	4%
El.Leistung Rückkühlung Mittel	[kW]	4.8		3.5	
El.Verbrauch Total	[kWh]	22'672	43%	70'790	45%
El.Leistung Total Mittel	[kW]	26		39	
Wärme an Rückkühlung	[kWh]	68'580		136'084	
AWN Heizung	[kWh]	0	0%	72'883	47%
AWN-Leistung Heizung	[kW]	0		40	
AWN Brauchwarmwasser	[kWh]	2'118	4%	11'295	7%
AWN-Leistung Brauchwarmwasser	[kW]	2.4		6.2	
Spezifischer El.verbrauch Kälte	[-]	0.43		0.45	
E.AWN	[kWh]			3'063	2%
ETV.AWN	[-]			23.8 ± 3.6	
Spezifischer El.verbrauch Rückkühlung	[-]	0.06		0.05	

Tabelle 5: Übersicht der Betriebsparameter der PK-Anlage im Betrieb mit und ohne AWN.

Pluskälte (PK)		ohne AWN		mit AWN	
Betrachtungsperiode	[h]	1192		1565	
Aussentemperatur	[°C]	5.3		4.4	
T.verdampfung	[°C]	-5.0		-6.7	
T.verflüssigung	[°C]	22.8		30.2	
Kälteproduktion Total	[kWh]	55'390	100%	114'621	100%
Kälteleistung Mittel	[kW]	46		73	
Wärmeproduktion Total	[kWh]	69'362	125%	150'775	132%
Wärmeleistung Mittel	[kW]	58		96	
El.Verbrauch Rückkühlung	[kWh]	3'545	6%	3'227	3%
El.Leistung Rückkühlung Mittel	[kW]	3.0		2.1	
El.Verbrauch Total	[kWh]	17'517	32%	39'381	34%
El.Leistung Total Mittel	[kW]	15		25	
Wärme an Rückkühlung	[kWh]	54'991		53'542	
AWN Heizung	[kWh]	0	0%	53'157	46%
AWN-Leistung Heizung	[kW]	0		34	
AWN Brauchwarmwasser	[kWh]	399	1%	7'922	7%
AWN-Leistung Brauchwarmwasser	[kW]	0.3		5.1	
E.Spez.Kälte	[-]	0.32		0.34	
E.AWN	[kWh]			3'133	3%
ETV.AWN	[-]			17.0 ± 2.0	
Spezifischer El.verbrauch Rückkühlung	[-]	0.06		0.06	

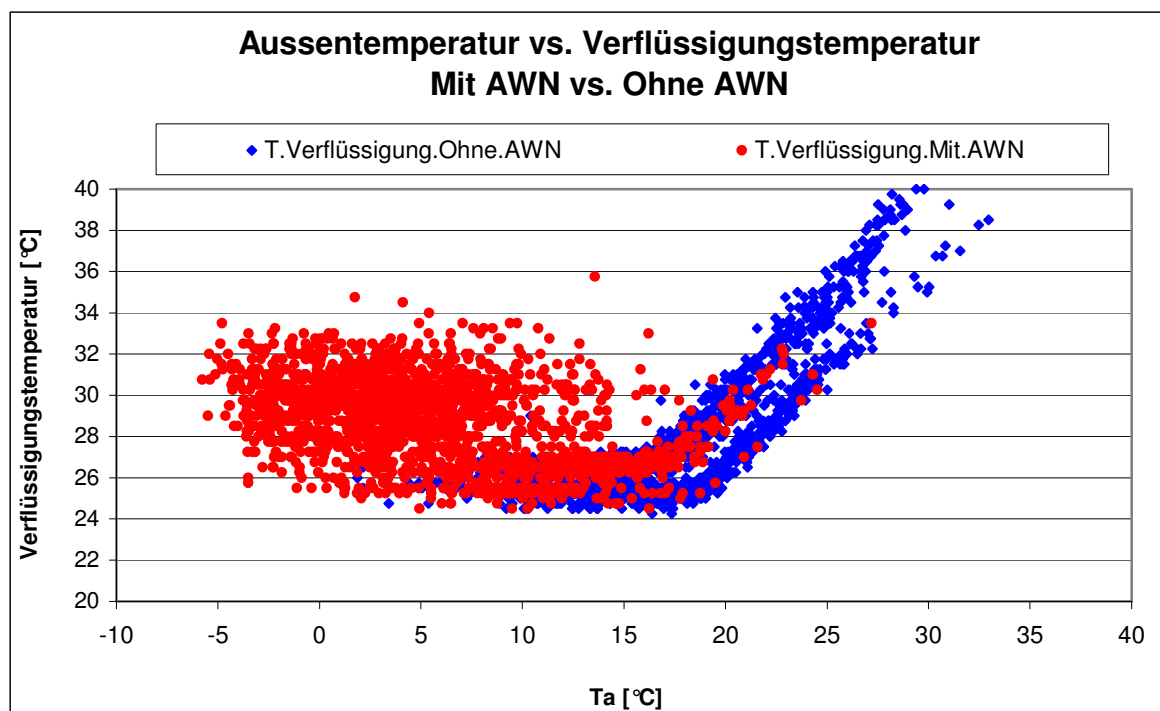
5.2 COOP, SURSEE

5.2.1 Temperaturen

Die Messungen wurden zwischen März 2007 und Juni 2008 durchgeführt. Am 8.2.2008 wurde die AWN ausgeschaltet. Dabei wurde von der zuständigen Firma unerwünschterweise auch die minimale Verflüssigungstemperatur im Rückkühlbetrieb abgesenkt. Für die Auswertung wurde aus diesem Grund die Periode „AWN Ein 2“ nicht berücksichtigt. Die Periode „AWN Aus“ wird gemäss Kap. 3 grundsätzlich nicht berücksichtigt. In der Figur 3 zeigt sich, dass wahrscheinlich auch während der dort dargestellten Periode „AWN Ein 1“ die Rückkühlkurve manipuliert (zwei Temperaturniveaus) wurde. Figur 3 lässt erkennen, dass die Anhebung der Verflüssigungstemperatur aussentemperaturgeführt erfolgt.

Tabelle 6: Messintervalle Coop, Sursee.

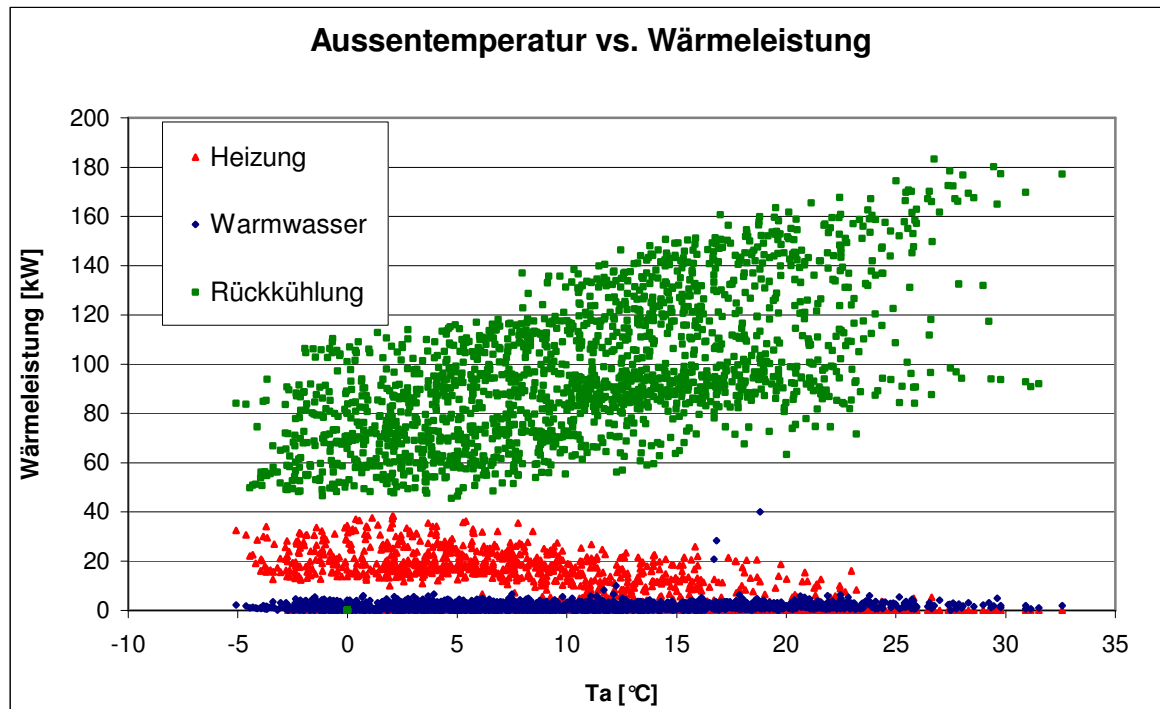
Messintervalle		
	Anfang	Ende
AWN Ein 1	07.03.07	08.02.08
AWN Aus	08.02.08	29.04.08
AWN Ein 2	29.04.08	30.06.08



Figur 3: Verflüssigungstemperaturen (2 h-Mittel) in der Periode vom 7.3.2007 - 8.2.2008. Der Grund für die beiden Rückkühl-niveaus liegt wohl an einer uns nicht bekannten Manipulation durch die Anlagenbetreiber.

5.2.2 Abwärmenutzung

Die Figur 4 zeigt die Wärmeleistungen an Rückkühlung, Heizung und Brauchwarmwasser. Die Verhältnisse sind jenen von Migros ähnlich. Ein deutlicher Unterschied zeigt sich in der Leistung an die Heizung. Diese liegt bei Auslegebedingungen bei 50 - 70 kW, also bei nur knapp der Hälfte im Vergleich zu Migros.



Figur 4: Wärmeleistungen (6 h-Mittel). Auch im Winter wird ein Grossteil der Abwärme rückgekühlt. Die Abwärmenutzung durch das Warmwasser liegt bei weniger als 2 %. Die Leistung an die Heizung liegt bei Auslegebedingungen bei 50 - 70 kW.

5.2.3 ETV

In der Tabelle 7 sind analog zu Migros die Ergebnisse der Coop-Messungen dargestellt.

Die mittlere Verflüssigungstemperatur in „mit AWN“ ist mit 29 °C gleich wie bei Migros. Hingegen „ohne AWN“ liegt die Coop-Anlage mit gut 25 °C ca. 3 K über Migros. Dies bedeutet, dass die Differenz zu „mit AWN“ deutlich geringer ist, was den ETV positiv beeinflusst.

Im Unterschied zu Migros ist die Anlagenleistung in den Intervallen „mit AWN“ und „ohne AWN“ gleich. Entsprechend wurde auch kein Unterschied im Carnot-Gütegrad festgestellt. Dies wirkt sich gegenüber Migros negativ auf den ETV aus. Der Gütegrad ist ein Mass für die inneren Verluste einer Maschine. Er gibt an, wie weit ein Prozess an den theoretischen Vergleichsprozess (Carnot-Prozess) angenähert ist.

Der spezifische Stromverbrauch der Rückkühlung ist bei Coop deutlich geringer als bei Migros. Im Unterschied zu Migros steigt der spezifische Stromverbrauch der Rückkühlung im Betrieb „mit AWN“ um 16 % an, was sich negativ auf den ETV auswirkt. Dies lässt vermuten, dass die Rückkühlventilatoren nicht optimal gesteuert werden.

In den Intervallen mit AWN liegt der Anteil an durch die Heizung genutzter Abwärme bei 21 %, also mehr als ein Drittel tiefer als bei Migros. Dies wirkt sich relativ zu Migros negativ auf den ETV aus, da ein geringerer Anteil der auf Heizungsniveau kondensierten Wärme tatsächlich für die Heizung genutzt wird. Die Wärmemenge, welche auf angehobenem Niveau auf den Rückkühler geht, kann aus den Daten nicht exakt bestimmt werden (Datenauflösung zu gering). Eine konservative Schätzung ergab eine Wärmemenge, die dem ein- bis zweifachen, von dem was von der Heizung genutzt wird, entspricht.

Der berechnete ETV liegt bei 8 ± 0.4 (Fehlerrechnung im Anhang 8.3.2). Würde sich der spezifische Stromverbrauch der Rückkühlung im Betrieb „mit AWN“ um den gleichen Wert reduzieren, wie bei Migros (-23 %) anstatt um +16 % anzusteigen, dann ergäbe sich ein ETV von 10. Damit würde also die ETV-Differenz zwischen den PK-Anlagen von Migros und Coop um 25% reduziert (Tabelle 7, Spalte „optimierte“ RK).

Tabelle 7: Übersicht der Betriebsparameter im Betrieb mit und ohne AWN. In der Spalte „optimierte RK (berechnet)“ wurde der Stromverbrauch der Rückkühlung gemäss den Verhältnissen der Migros-Anlage um 23 % relativ zu „ohne AWN“ reduziert.

Pluskälte		ohne AWN		mit AWN		mit AWN: optimierte RK (berechnet)	
Betrachtungsperiode	[h]	1'758		3'305		3'305	
Aussentemperatur	[°C]	11.2		4.5		4.5	
T.verdampfung	[°C]	-5.0		-5.2		-5.2	
T.verflüssigung	[°C]	25.6		29.1		29.1	
Kälteproduktion Total	[kWh]	126'936	100%	228'441	100%	228'441	100%
Kälteleistung Mittel	[kW]	72.2		69.1		69.1	
Wärmeproduktion Total	[kWh]	178'683	141%	331'545	145%	331'545	145%
Wärmeleistung Mittel	[kW]	101.6		100.3		100.3	
El.Verbrauch Rückkühlung	[kWh]	5'593	4.4%	9'441	4.1%	7'301	3%
El.Leistung Rückkühlung Mittel	[kW]	3.2		2.9		2.2	
El.Verbrauch Total	[kWh]	57'340	45%	112'545	49%	110'405	48%
El.Leistung Total Mittel	[kW]	32.6		34.1		33.4	
Wärme an Rückkühlung	[kWh]	175'783		255'403			
AWN Heizung	[kWh]	0	0%	70'591	31%	70'591	31%
AWN-Leistung Heizung	[kW]	0.0		21.4		21.4	
AWN Brauchwarmwasser	[kWh]	2'900	2%	5'551	2%	5'551	2%
AWN-Leistung Brauchwarmwasser	[kW]	1.6		1.7		1.7	
Spezifischer El.Verbrauch Kälte	[-]	0.45		0.49		0.48	
El.Verbrauch AWN	[kWh]			9'353	4%	7'213	3%
ETV.AWN	[-]			7.5 ± 0.4		9.8 ± 0.4	
Spezifischer El.Verbrauch Rückkühlun	[-]	0.032		0.037		0.029	

6 Diskussion

6.1 ERKENNTNISSE

Die vorgängig dargestellten Daten der beiden Anlagen zeigen insbesondere zwei Dinge:

- **Bei beiden Anlagen ist AWN energetisch / ökologisch sinnvoll.** Zur Interpretation von ETV-Werten können beispielsweise Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpen verwendet werden, welche das gleiche Verhältnis darstellen. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass Werte über 3 als ökologisch / energetisch gut und Werte über 5 als sehr gut zu betrachten sind.
- **Nicht nur die Anhebung der Verflüssigungstemperatur hat einen wesentlichen Einfluss auf den ETV.** Durch eine entsprechende Planung der Anlage und einen optimalen Betrieb kann der ETV stark positiv beeinflusst werden.

In Tabelle 8 sind die wesentlichen Faktoren dargestellt. Der resultierende ETV ist in hohem Mass von jedem einzelnen dieser Faktoren abhängig. Im vorangehenden Kapitel wurde exemplarisch die Sensitivität des ETV auf den Stromverbrauch der Rückkühlung dargestellt. Der Grund für die grosse Sensitivität des ETV auf alle diese Einflussfaktoren ist, dass der Mehrstromverbrauch in den Intervallen mit AWN nur 4 bis 5 % des totalen Stromverbrauchs der Kälteproduktion ausmacht. Aus diesem Grund können die hier gefundenen ETV auch nicht als repräsentativ für GWK-Anlagen im Allgemeinen betrachtet werden. Andererseits zeigen die verschiedenen Einflussfaktoren aber auch, dass durch eine entsprechende Planung der ETV entscheidend beeinflusst werden kann.

Tabelle 8: Der ETV wird bei den untersuchten Anlagen massgeblich von vier Faktoren beeinflusst. Die ausgewiesene Anhebung der Verflüssigungstemperatur entspricht dem Mittel aus den Intervallen „mit AWN“ minus „ohne AWN“.

Einflussfaktoren ETV	Migros	Coop
Wärmeanteil auf erhöhtem Temperaturniveau rückgekühlt (Schätzung)	30-40%	50-70%
Änderung Stromverbrauch Rückkühlung: mit AWN / ohne AWN	-23%	+16%
Änderung Gütegrad der Kompressoren: mit AWN / ohne AWN	+7%	0%
Anhebung der Verflüssigungstemperatur: mit AWN / ohne AWN	+7.7°C	+3.5°C

6.2 PLANUNGSHINWEISE

6.2.1 AWN-Temperatur

Der Wärmebedarf des Brauchwarmwassers benötigt meist deutlich weniger Wärme, als durch Enthitzung des Kältemittels bereitgestellt werden kann. Für die Heizung soll deshalb in einem ersten Schritt die verbleibende Enthitzungswärme genutzt werden. Der heizungsseitige Verflüssiger ist entsprechend zu regeln.

Reicht die Enthitzung nicht, um den Heizwärmebedarf zu decken, dann wird die Verflüssigungstemperatur angehoben. Zu jedem Zeitpunkt soll diese Anhebung auf das tiefstmögliche Niveau erfolgen. D.h. die Anhebung soll aussentemperaturgeführt, entsprechend dem Heizleistungsbedarf, erfolgen. Von dieser Regel kann abgewichen werden, wenn durch höhere Vorlauftemperaturen auf Umluftheizapparate, deren Ventilatorstromverbrauch so stark gesenkt werden kann, dass der Mehrverbrauch der Kompressoren (höhere Verflüssigungstemperatur) überkompensiert wird.

Das Wärmeabgabesystem ist auf tiefstmögliche Temperaturen auszulegen.

6.2.2 AWN Auslegung und Betrieb

Es muss sichergestellt werden, dass die gesamte auf angehobenem Temperaturniveau kondensierte Wärme für die Heizung genutzt wird. Dies bedingt:

- Der heizungsseitige Verflüssiger wird so ausgelegt, dass er die gesamte Wärmeleistung der Kompressoren aufnehmen kann. Die Umwälzpumpe zum Rückkühler sollte bei angehobener Verflüssigungstemperatur gesperrt werden.
- Ein Zyklus mit angehobener Verflüssigungstemperatur sollte eine minimale Länge von ca. 20 Minuten haben. Damit können die Verluste aus den Auskühlphasen der AWN-Anlage limitiert werden.

Die minimale Zykluszeit hängt vom Verhältnis aus heizungsseitigem Wärmeleistungsbedarf, Trägheit des Abgabesystems und Abwärmeleistung der Kompressoren ab. Bei einem wenig trägen Abgabesystem, welches kaum an die Gebäudemasse gekoppelt ist (Umluftheizapparate, Radiatoren, Konvektoren), sollte deshalb ein AWN-Speicher installiert werden. Die Speicherkapazität soll die oben genannte Mindestzykluslänge des AWN-Betriebes sicherstellen.

Liegt der Wärmeleistungsbedarf der Heizung viel niedriger, als die maximale Abwärmeleistung der gesamten GWK-Anlage, dann kann die notwendige Speichergrösse reduziert werden, indem bedarfsabhängig nur die PK- oder MK-Anlage angehoben wird.

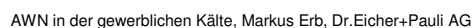
6.2.3 Rückkühlung

Pumpen und Ventilatoren im Rückkühlsystem sind optimal, d.h. bedarfsgerecht zu betreiben.

7 Abkürzungen

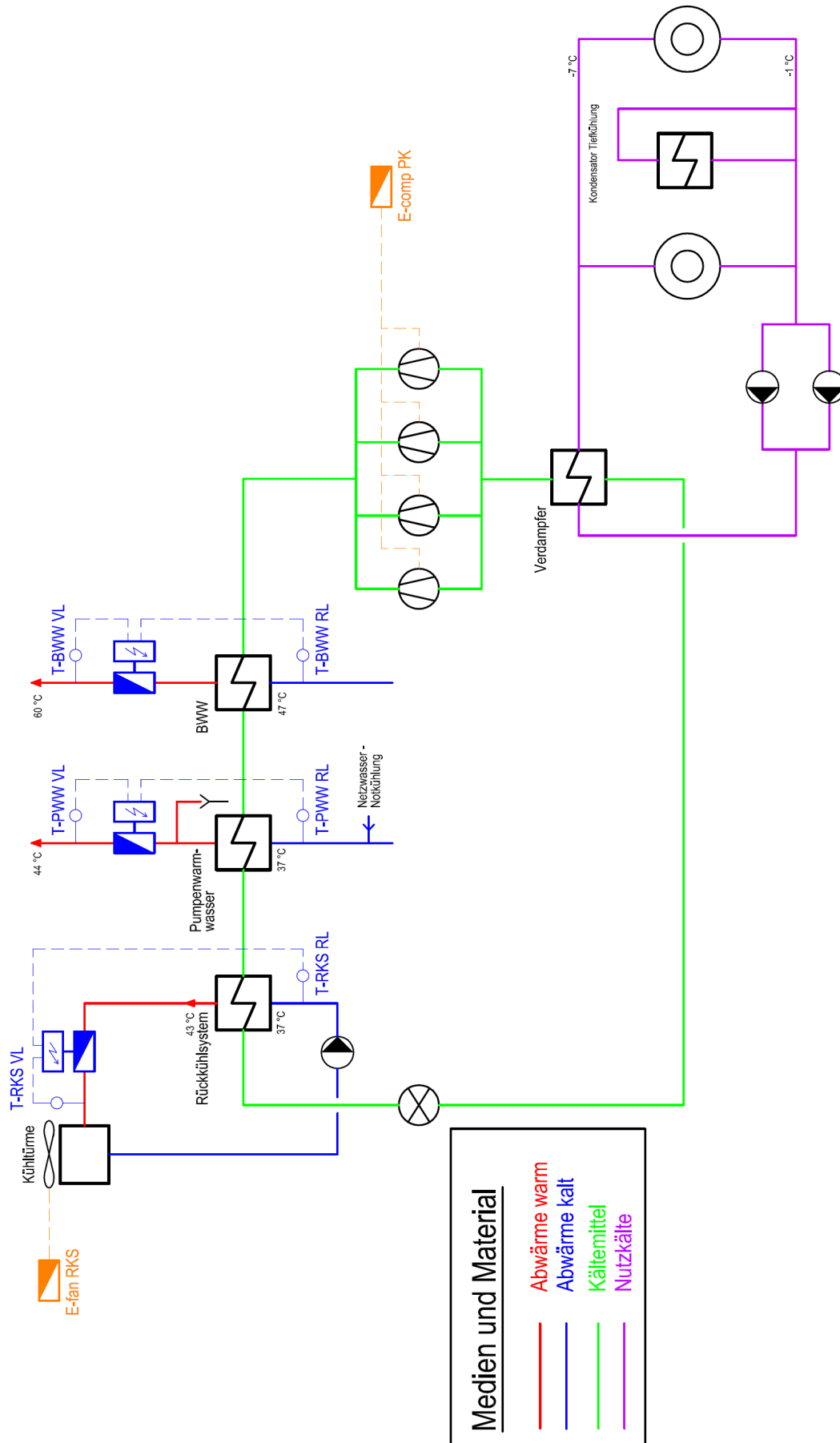
AWN		Abwärmenutzung
BWW		Brauchwarmwasser
E.Komp	[kWh]	Stromverbrauch der Kompressoren
E.Spez.Kälte	[-]	Spezifischer Strombedarf zum Abführen von Wärme
E	[kWh]	Stromverbrauch
E.AWN	[kWh]	Mehrstromverbrauch im AWN-Betriebszustand
E.tot	[kWh]	Stromverbrauch total (Kompressoren und Antriebe der Rückkühlung)
ETV	[-]	Elektrothermischer Verstärkungsfaktor
K.tot	[kWh]	Totale Kältemenge
MK		Minuskälte
m.AWN		Mit Abwärmenutzung
o.AWN		Ohne Abwärmenutzung
PK		Pluskälte
Q	[kWh]	Wärmemenge
Q.BWW	[kWh]	Durch AWN genutzte Wärmemenge für Brauchwarmwasser
Q.Heizung	[kWh]	Durch AWN genutzte Wärmemenge für Heizung
Q.Rückkühlung	[kWh]	Wärmemenge die über die Rückkühlung abgeführt wird

8.1 MIGROS, WORB: PRINZIPSHEMA MIT MESSSTELLEN



Kürzel	Messgrösse	Einheit	Ort der Messstelle
Aufzeichnung Siemens			
E-pump RKS PK	Leistungsaufnahme Pumpe RKS PK	[kW_el]	RKS PK
E-pump RKS TK	Leistungsaufnahme Pumpe RKS TK	[kW_el]	RKS TK
W-RKS PK	Abwärme RKS PK	[kWh]	innerhalb Mischkreis RKS PK, GWK, Austritt Verflüssiger (Vorlauf, im Auslegungsfall +43°C)
W-RKS TK	Abwärme RKS TK	[kWh]	innerhalb Mischkreis RKS TK, GWK, Austritt Verflüssiger (Rücklauf, im Auslegungsfall +37°C)
W-BWW tot	Abwärme BWW gesamt	[kWh]	Einspeisung Speicher BWW
W-BWW TK	Abwärme BWW TK	[kWh]	Mischkreis BWW TK
W-PWW tot	Abwärme Heizung gesamt	[MWh]	Einspeisung Zwi.speicher PWW
W-PWW TK	Abwärme Heizung TK	[kWh]	Mischkreis PWW TK
E-K-tot Z1	Energieaufnahme Kälte gesamt, Zähler 1	[kWh_el]	Haupteinspeisung
E-K-tot Z2	Energieaufnahme Kälte gesamt, Zähler 2	[kWh_el]	Einspeisung El.motoren
E-comp PK Z1	Energieaufnahme Verdichter PK, Zähler 1	[kWh_el]	Einspeisung El.motoren
E-comp PK Z2	Energieaufnahme Verdichter PK, Zähler 2	[kWh_el]	Einspeisung Ventilatoren
E-comp TK Z1	Energieaufnahme Verdichter TK, Zähler 1	[kWh_el]	
E-comp TK Z2	Energieaufnahme Verdichter TK, Zähler 2	[kWh_el]	
E-fan RKS Z1	Energieaufnahme Vent. RKS PK+TK, Zähler 1	[kWh_el]	
E-fan RKS Z2	Energieaufnahme Vent. RKS PK+TK, Zähler 2	[kWh_el]	
T-a siemens	Aussentemperatur	[°C]	Umgebung
T-RKS PK VL	Temperatur RKS PK Vorlauf	[°C]	Mischkreis RKS PK
T-RKS PK RL	Temperatur RKS PK Rücklauf	[°C]	Mischkreis RKS PK
T-RKS TK VL	Temperatur RKS TK Vorlauf	[°C]	Mischkreis RKS TK
T-RKS TK RL	Temperatur RKS TK Rücklauf	[°C]	Mischkreis RKS TK
T-BWW tot VL	Temperatur BWW total Vorlauf	[°C]	
T-BWW tot RL	Temperatur BWW total Rücklauf	[°C]	
T-BWW TK VL	Temperatur BWW TK Vorlauf	[°C]	Mischkreis BWW TK
T-BWW TK RL	Temperatur BWW TK Rücklauf	[°C]	Mischkreis BWW TK
T-PWW tot VL	Temperatur Heizung total Vorlauf	[°C]	
T-PWW tot RL	Temperatur Heizung total Rücklauf	[°C]	
T-PWW TK VL	Temperatur Heizung TK Vorlauf	[°C]	Mischkreis PWW TK
T-PWW TK RL	Temperatur Heizung TK Rücklauf	[°C]	Mischkreis PWW TK
vol-Notkühl PK	Notkühlung Abwärme PK	[m3]	Netzwasser-Notkühlung PK
vol-Notkühl TK	Notkühlung Abwärme TK	[m3]	Netzwasser-Notkühlung TK
Aufzeichnung LKS			
T-verd PK	Verdampfungstemperatur Pluskühlung	[°C]	
T-cond in PK	Eintritt Verflüssiger, PK = RKS PK RL	[°C]	entspricht RKS PK RL
T-cond PK	Verflüssigungstemperatur tC, Pluskühlung	[°C]	
T-a PK LKS	Aussentemperatur, Pluskühlung	[°C]	
T-cond out PK	Austritt Verflüssiger, PK = RKS PK VL	[°C]	entspricht RKS PK VL
0/1-WRG PK	Anforderung WRG, PK	[--]	
T-verd TK	Verdampfungstemperatur t0	[°C]	
T-cond in TK	Eintritt Verflüssiger, TK = RKS TK RL	[°C]	entspricht RKS TK RL
T-cond TK	Verflüssigungstemperatur tC, Tiefkühlung	[°C]	
T-a TK LKS	Aussentemperatur, Tiefkühlung	[°C]	
T-cond out TK	Austritt Verflüssiger, TK = RKS TK VL	[°C]	entspricht RKS TK VL
0/1-WRG TK	Anforderung WRG, TK	[--]	

8.2 COOP, SURSEE: PRINZIPSCHEMA MIT MESSSTELLEN



Kürzel	Messgrösse	Einheit	Ort der Messstelle
Aufzeichnung Tetrag			
E-K-tot	Energieaufnahme Kälte gesamt	[kW_el]	Haupteinspeisung
E-comp PK	Energieaufnahme Verdichter PK	[kW_el]	Zentrale GWK, Elektroschrank PK
E-fan RKS PK	Energieaufnahme Ventilator RKS PK	[kW_el]	Zentrale GWK, ESK Haupteinspeisung
W-PWW PK	Abwärme Heizung PK, exkl. Notkühlung	[kW]	Zentrale HLK, ausserhalb Mischkreis PWW PK
W-BWW PK	Abwärme BWW PK	[kW]	Zentrale HLK, ausserhalb Mischkreis BWW PK
W-RKS PK	Abwärme RKS PK	[kW]	Zentrale GWK, innerhalb Mischkreis RKS PK
1/0-Notkühl	Status Notkühler	[-]	Zentrale HLK
T-a tetrag	Aussentemperatur	[°C]	
T-RKS PK VL	Temperatur RKS PK Vorlauf	[°C]	Zentrale GWK, innerhalb Mischkreis RKS PK
T-PWW PK VL	Temperatur PWW PK Vorlauf	[°C]	Zentrale HLK, ausserhalb Mischkreis PWW PK
T-PWW PK RL	Temperatur PWW PK Rücklauf	[°C]	Zentrale HLK, ausserhalb Mischkreis PWW PK
Aufzeichnung Frigo Consulting			
%-pump1 RKS	RKS-Pumpe 1	[%]	
%-pump2 RKS	RKS-Pumpe 2	[%]	
%-WRG BWW	AWN Enthitzung BWW	[%]	nur Enthitzung
T-cond	Kondensationsdruck	[°C]	
T-a frigo	Aussentemperatur	[°C]	
T-cond out	Austritt Verflüssiger = RKS VL	[°C]	entspricht RKS VL
T-cond in	Eintritt Verflüssiger = RKS RL	[°C]	entspricht RKS RL
%-d/n	Tag/Nacht	[%]	
T-verd SOLL	Sollwert Vorlauf KTS	[°C]	
T-verd IST	Saugdruck Istwert	[°C]	
%-KM-pump	Stufenzahl	[%]	
T-verd VL	Vorlauf KTS	[°C]	
T-verd RL	Rücklauf KTS	[°C]	
%-verd P1	KTS Pumpe 1	[%]	
%-verd P2	KTS Pumpe 2	[%]	

8.3 FEHLERRECHNUNG

Für jede messtechnisch ermittelte Grösse wird in einem ersten Schritt die Auswirkung der Messunsicherheit auf den ETV ermittelt. Bei unabhängigen Messgrössen, wie sie hier vorliegen, entspricht die gesamte Unsicherheit des ETV dann näherungsweise der Wurzel aus der Summe der quadrierten Einzelfehler (Gauss'sches Fehlerfortpflanzungsgesetz, Formel 5). Eine theoretische Umsetzung der Formel (5) hätte sehr aufwändige Differentialrechnungen bedingt. Deshalb wurde der empirische Weg gewählt, welcher einfacher zum gleichen Ergebnis führt. Konkret wurden die Messgrössen im Berechnungstool gemäss ihrem Fehler einzeln variiert und der resultierende Einzelfehler festgehalten.

$$u_y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \cdot u_1\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \cdot u_2\right)^2 + \dots} \quad (5)$$

Legende

u_y	Gesamte Unsicherheit von y (y ist hier der ETV)
$\frac{\partial y}{\partial x_n}$	Ableitung von y nach der Messgrösse n
u_n	Gesamte Unsicherheit der Messgrösse n

Während der Messung wurde festgestellt, dass bei der gemessenen Rückkühlung die Temperaturdifferenz von Vor- zu Rücklauf viel tiefer als angenommen ist (im Mittel 1.3 K). Zur Reduktion der Messunsicherheit der rückgeköhlten Wärmemenge wurden die Temperaturfühler durch eine akkreditierte Firma (Aquametro) kalibriert. Die Resultate dieser Kalibriermessungen wurden dann für die Ermittlung des Fehlers der Wärmemessung verwendet.

8.3.1 Migros, Worb

Kalibrierung Temperaturfühler Rückkühlung

Die Differenz zwischen Vor- und Rücklauffühler der TK-Messung lag mit 0.11 K relativ hoch. Dieser Wert wurde verwendet um die darauf basierende Wärmemessung zu korrigieren und somit den Fehler im ETV zu eliminieren (vgl. unten)

Rückkühlung PK

Aquametro Kalibrier-Zertifikat Nr. Z 3188/09

Temperaturen [°C]

T.Referenz	40.0432	80.0168	129.9931
T.RL	41.3088	81.2500	131.1151
T.VL	41.2846	81.2979	131.2509
Fehler dT	-0.0242	0.0479	0.1358

Rückkühlung TK - original

Aquametro Kalibrier-Zertifikat Nr. Z 3187/09

Temperaturen [°C]

T.Referenz	40.0432	80.0168	129.9931
T.RL	41.4098	81.4284	131.3886
T.VL	41.5238	81.5346	131.4891
Fehler dT	0.1140	0.1062	0.1005

Fehlerermittlung Wärmemessungen

Rückkühlung PK

Wärmemessung	Messpunkt	Fehler (Komponenten)		Totaler Fehler	
<i>PT500</i>	Tvl [°C]	Trl [°C]	absolut [K]	relativ [%]	absolut [K]
Temperaturdifferenz	35.2	32.5	0.02	0.0	0.02
<i>Krohne</i>	Messpunkt	Fehler		Totaler Fehler	
	Vol.strom [m3/h]	relativ [%]		absolut [m3/h]	relativ [%]
Durchfluss		1.0			1.00
Wärmeleistung (pQ)				Fehlerrechnung (±pQ)	
				relativ [%]	
Total				1.3	

Rückkühlung TK - original

Wärmemessung	Messpunkt	Fehler (Komponenten)		Totaler Fehler	
<i>PT500</i>	Tvl [°C]	Trl [°C]	absolut [K]	relativ [%]	absolut [K]
Temperaturdifferenz	34.2	32.8	-0.11	0.0	-0.11
<i>Krohne</i>	Messpunkt	Fehler		Totaler Fehler	
	Vol.strom [m3/h]	relativ [%]		absolut [m3/h]	relativ [%]
Durchfluss		1.0			1.00
Wärmeleistung (pQ)				Fehlerrechnung (±pQ)	
				relativ [%]	
Total				8.2	

Rückkühlung TK - korrigiert

Wärmemessung	Messpunkt	Fehler (Komponenten)		Totaler Fehler	
<i>PT500</i>	Tvl [°C]	Trl [°C]	absolut [K]	relativ [%]	absolut [K]
Temperaturdifferenz	34.2	32.8	0.00	0.0	0.00
<i>Krohne</i>	Messpunkt	Fehler		Totaler Fehler	
	Vol.strom [m3/h]	relativ [%]		absolut [m3/h]	relativ [%]
Durchfluss		1.0			1.00
Wärmeleistung (pQ)				Fehlerrechnung (±pQ)	
				relativ [%]	
Total				1.0	

Heizung Total

Wärmemessung	Messpunkt	Fehler (Komponenten)		Totaler Fehler	
<i>PT500</i>	Tvl [°C]	Trl [°C]	absolut [K]	relativ [%]	absolut [K]
Temperaturdifferenz	53.1	29.7	0.06	0.0	0.06
<i>GWF</i>	Messpunkt	Fehler		Totaler Fehler	
	Vol.strom [m3/h]	relativ [%]		absolut [m3/h]	relativ [%]
Durchfluss		1.0			1.00
Wärmeleistung (pQ)				Fehlerrechnung (±pQ)	
				relativ [%]	
Total				1.0	

Heizung TK

Wärmemessung	Messpunkt	Fehler (Komponenten)		Totaler Fehler	
<i>PT500</i>	Tvl [°C]	Trl [°C]	absolut [K]	relativ [%]	absolut [K]
Temperaturdifferenz	47.6	29.8	0.06	0.0	0.06
<i>Siemens Sonoheat</i>	Messpunkt	Fehler		Totaler Fehler	
	Vol.strom [m3/h]	relativ [%]		absolut [m3/h]	relativ [%]
Durchfluss		1.0			1.00
Wärmeleistung (pQ)				Fehlerrechnung (±pQ)	
				relativ [%]	
Total				1.1	

Brauchwarmwasser Total						
Wärmemessung	Messpunkt	Fehler (Komponenten)			Totaler Fehler	
PT500	Tvl [°C]	Trl [°C]	absolut [K]	relativ [%]	absolut [K]	relativ [%]
Temperaturdifferenz	56.3	37.7	0.06	0.0	0.06	0.32
GWF	Messpunkt	Fehler			Totaler Fehler	
	Vol.strom [m3/h]	relativ [%]			absolut [m3/h]	relativ [%]
Durchfluss		1.0				1.00
Wärmeleistung (pQ)					Fehlerrechnung (±pQ)	
						relativ [%]
Total						1.1

Brauchwarmwasser TK						
Wärmemessung	Messpunkt	Fehler (Komponenten)		Totaler Fehler		
PT500	Tvl [°C]	Trl [°C]	absolut [K]	relativ [%]	absolut [K]	relativ [%]
Temperaturdifferenz	38.2	36.2	0.06	0.0	0.06	3.00
Siemens Sonoheat	Messpunkt	Fehler		Totaler Fehler		
	Vol.strom [m3/h]	relativ [%]		absolut [m3/h]		relativ [%]
Durchfluss		1.0				1.00
Wärmeleistung (pQ)				Fehlerrechnung (±pQ)		
						relativ [%]
Total						3.2

Fehlerermittlung ETV

Die Einzelfehler der Wärmemessungen stammen aus der Tabelle oben. Der Fehler der Elektromessung entspricht den Herstellerangaben.

Gesamtanlage	Fehler Energie [-]	ETV mit Fehler [-]	Abweichung ETV [-]
Wärme Rückkühlung PK	1.013	22.07	7%
Wärme Rückkühlung TK (korr.)	1.010	22.90	4%
Wärme Heizung Total	1.010	26.70	-12%
Wärme Heizung TK	1.011	23.80	0%
Wärme Brauchwarmwasser Total	1.011	24.11	-1%
Wärme Brauchwarmwasser TK	1.032	23.31	2%
Elektro Verdichter PK	1.005	23.23	2%
Elektro Verdichter TK	1.005	23.79	0%
Fehler ETV total			± 15%
ETV		23.8	± 3.6

Pluskälte	Fehler Energie [-]	ETV mit Fehler [-]	Abweichung ETV [-]
Wärme Rückkühlung PK	1.013	15.89	6%
Wärme Rückkühlung TK (korr.)	1.010	16.96	0%
Wärme Heizung Total	1.010	18.54	-9%
Wärme Heizung TK	1.011	16.35	4%
Wärme Brauchwarmwasser Total	1.011	17.14	-1%
Wärme Brauchwarmwasser TK	1.032	16.83	1%
Elektro Verdichter PK	1.005	16.71	1%
Elektro Verdichter TK	1.005	16.97	0%
Fehler ETV total			± 12%
ETV		17.0	± 2.0

8.3.2 Coop, Sursee

Kalibrierung Temperaturfühler Rückkühlung

Aquametro Kalibrier-Zertifikat Nr. Z 3186/09

Temperaturen [°C]

T.Referenz	40.0432	80.0168	129.9931
T.RL	41.4953	81.4568	131.3884
T.VL	41.4948	81.5128	131.4640
Fehler dT	-0.0005	0.0560	0.0756

Fehlerermittlung Wärmemessungen

Rückkühlung

Wärmemessung (1 Kondensator)	Messpunkt	Fehler (Komponenten)		Totaler Fehler	
PT500	Tvl [°C]	Trl [°C]	absolut [K]	relativ [%]	absolut [K]
Temperaturdifferenz	23.7	22.4	0.0005	0.0	0.00
GWF	Messpunkt	Fehler	Totaler Fehler		
	Vol.strom [m3/h]	relativ [%]	absolut [m3/h]	relativ [%]	
Durchfluss		1.0		1.00	
Wärmeleistung (pQ)	Fehlerrechnung (±pQ)				relativ [%]
Total					1.0

Heizung

Wärmemessung (1 Kondensator)	Messpunkt	Fehler (Komponenten)		Totaler Fehler	
PT500	Tvl [°C]	Trl [°C]	absolut [K]	relativ [%]	absolut [K]
Temperaturdifferenz	46.6	33.2	0.06	0.0	0.06
GWF	Messpunkt	Fehler	Totaler Fehler		
	Vol.strom [m3/h]	relativ [%]	absolut [m3/h]	relativ [%]	
Durchfluss	100.0	1.0	1.00	1.00	
Wärmeleistung (pQ)	Fehlerrechnung (±pQ)				relativ [%]
Total					1.1

Brauchwarmwasser

Wärmemessung (1 Kondensator)	Messpunkt	Fehler (Komponenten)		Totaler Fehler	
PT500	Tvl [°C]	Trl [°C]	absolut [K]	relativ [%]	absolut [K]
Temperaturdifferenz	59.8	40.0	0.06	0.0	0.06
GWF	Messpunkt	Fehler	Totaler Fehler		
	Vol.strom [m3/h]	relativ [%]	absolut [m3/h]	relativ [%]	
Durchfluss		1.0		1.00	
Wärmeleistung (pQ)	Fehlerrechnung (±pQ)				relativ [%]
Total					1.0

Fehlerermittlung ETV

Die Einzelfehler der Wärmemessungen stammen aus der Tabelle oben. Der Fehler der Elektromessung entspricht den Herstellerangaben.

	Mittlere Temp.diff. [K]	Fehler Energie [-]	ETV mit Fehler [-]	Abweichung ETV [-]
Wärme Rückkühlung	1.3	1.010	7.3	3%
Wärme Heizung	13.3	1.011	7.9	-5%
Wärme Brauchwarmwasser	19.8	1.010	7.5	-0.02%
Elektro Verdichter		1.005	7.5	1%
Fehler ETV total				± 6%
ETV			7.5	± 0.4