

Schlussbericht Juli 2004

# **Nutzung von Abwasser-Wärme aus der ARA Arbon für den Wärmeverbund Salwiese-Bleiche Betriebserfahrungen**

Ausgearbeitet durch  
**René Nijssen**  
**Durena AG**  
**Sägestrasse 6**  
**5600 Lenzburg**

Dieser Bericht ist mit finanzieller Unterstützung des Bundesamtes für Energie entstanden. Für Inhalt und Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichtes verantwortlich.

# 1. Zusammenfassung

Seit Herbst 2002 versorgen die Stadtwerke Arbon die im Bau befindliche Überbauung Bleiche II und die bestehende Überbauung Bleiche I mit Wärme ab der Zentrale Salwiese. Die installierte Wärmepumpenleistung in der Heizzentrale Salwiese wurde dafür von 80 kW<sub>th</sub> auf 380 kW<sub>th</sub> massiv erweitert und es wurde ein Reserve- und Notkessel mit 720 kW<sub>th</sub> installiert. Am bestehenden Konzept der bivalenten Wärmeerzeugung wurde festgehalten. Als Wärmequelle für die vier Wärmepumpen wird weiterhin gereinigtes Abwasser ab ARA verwendet.

Zusammenfassend kann Folgendes gesagt werden:

- Die Installation verlief ohne nennenswerte Probleme. Die Inbetriebsetzung lag kurz vor Weihnachten etwas ungünstig, was sich dann auch prompt in der ersten Störung in der Altjahrswoche bestätigte.
- Die Betriebserfahrungen zeigen klar, dass es sich mit Ausnahme des Abwassersystems um Standardheizungstechnik handelt, die die üblichen kleine Probleme und Optimierungsbedarf verursachte. Wie zu erwarten war, traten im Abwassersystem die meisten Störungen auf. Wie ebenfalls zu erwarten war lagen die Ursachen mehrheitlich in der nicht genau bekannten Wasserqualität, d.h. Art und Menge der Verschmutzungen waren nicht bekannt. Daraus entstand der anteilmässig grösste Optimierungsbedarf beim Abwasserfilter.
- In energietechnischer Hinsicht (Energienmengen, JAZ etc.) wurde die Erwartungen erfüllt.

Alles in Allem kann gesagt werden, dass mit Ausnahme der ärgerlichen und teilweise vermeidbaren Störungen am Abwasserfilter, die Anlage erwartungsgemäss betrieben werden kann. Die Reinigung des Abwasserwärmetauschers muss noch optimiert werden.

## 1.1 Abstract

*The Stadtwerke Arbon Ltd. are supplying since autumn 2002 heat to the building area under construction in Bleiche II and to the existing buildings in Bleiche I. Therefore the thermal power of the existing heating facility Salwiese had to be extended from approx. 150 kW to 540 kW. The actual concept of bivalent heat generation has been carried on without any changes. Water from the wastewater facilities located in the area is used as heat source for the four heat pumps of in total 380 kW thermal power.*

*The following observations can be made:*

- *The Erection has been performed without namable problems. The end of the commissioning period close to Christmas appeared to be a little bit unfavorable, as expected the first minor malfunction occurred during the week between Christmas and New Year.*
- *The first operational experience shows clearly that with exception of the waste water system that one had to deal with standard heating technique which as usual generates small problems which require optimization related actions. As expected, most of the malfunctions concerned the waste water system. The reason for the biggest part of these malfunctions is to find in the uncertainties concerning the water quality, that means type and quantity of the dirt contained in the wastewater. This part of the project required the most optimization efforts.*
- *Concerning energy or SPF the results are as expected.*

*As a conclusion it can be stated that with the only exception of the angrily and partly avoidable malfunctions of the wastewater filter, the heat plant works as expected. The procedure for cleaning of the heat-exchanger has to be optimized.*

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Zusammenfassung</b>	<b>II</b>
1.1 <i>Abstract</i>	<i>II</i>
<b>2. Konzept</b>	<b>1</b>
2.1 <i>Ausgangslage</i>	<i>1</i>
2.2 <i>Ausbauetappen Nahwärmeverbund</i>	<i>1</i>
2.3 <i>Ausbau Heizzentrale</i>	<i>2</i>
<b>3. Auslegung</b>	<b>3</b>
3.1 <i>Wärmeerzeugung</i>	<i>3</i>
3.1.1 <i>Wärmepumpen</i>	<i>4</i>
3.1.2 <i>Abwassersystem</i>	<i>5</i>
3.1.3 <i>Reservekessel</i>	<i>7</i>
3.1.4 <i>Expansion, Druckhaltung und Entgasung</i>	<i>7</i>
3.2 <i>Wärmeverteilung</i>	<i>8</i>
3.2.1 <i>Wärmebezüger</i>	<i>8</i>
3.2.2 <i>Fernwärmeleitung Bleiche</i>	<i>8</i>
3.3 <i>Betrieb</i>	<i>9</i>
3.3.1 <i>Betriebskonzept Wärmeerzeugung</i>	<i>9</i>
3.3.2 <i>Steuerung Wärmeerzeugung (Speicherbewirtschaftung)</i>	<i>9</i>
3.3.3 <i>Betriebsprotokoll</i>	<i>9</i>
3.3.4 <i>Anlagenprotokoll</i>	<i>9</i>
<b>4. Betriebserfahrungen</b>	<b>10</b>
4.1 <i>Inbetriebsetzung</i>	<i>10</i>
4.2 <i>Betrieb ab Inbetriebsetzung bis April 2004</i>	<i>10</i>
4.2.1 <i>Abwassersystem</i>	<i>10</i>
4.2.2 <i>Heizzentrale allgemein</i>	<i>12</i>
<b>5. Energetische Auswertungen erstes Betriebsjahr</b>	<b>13</b>
5.1 <i>Ziel der Auswertung</i>	<i>13</i>
5.2 <i>Vorgehen der Erfassung und Definition der Messwerte</i>	<i>13</i>
5.3 <i>Hilfsbetriebe (nicht separat gemessene Daten)</i>	<i>15</i>
5.4 <i>Auswertung und Analyse</i>	<i>15</i>
5.4.1 <i>Jahresauswertung</i>	<i>15</i>
5.4.2 <i>Monatsauswertung des Winters 2003/04</i>	<i>16</i>
5.4.3 <i>Auswertung Januar 2004</i>	<i>19</i>
5.5 <i>Folgerungen und Optimierungsmaßnahmen</i>	<i>20</i>
<b>6. Anhang</b>	<b>21</b>
6.1 <i>Hydraulisches Schema</i>	<i>21</i>
6.2 <i>Fotos der Heizzentrale</i>	<i>22</i>
6.3 <i>Fotos des geöffneten Abwasserwärmetauschers</i>	<i>23</i>
6.4 <i>Betriebsprotokoll</i>	<i>24</i>
6.5 <i>Jahresdauerlinie (theoretisch)</i>	<i>25</i>
6.6 <i>Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen</i>	<i>26</i>

Schlussbericht BfE  
Revision 1  
20. Juli 2004

## 2. Konzept

### 2.1 Ausgangslage

Die Stadtwerke Arbon AG betrieb in der Salwiese eine bivalente Heizzentrale, bestehend aus einer Wärmepumpe 80 kW<sub>th</sub> und einem Ölkessel 170 kW<sub>th</sub>. Als Wärmequelle für die Wärmepumpe diente geklärtes Abwasser. Die Zentrale war erst teilweise ausgebaut.

Seit Herbst 2002 versorgen die Stadtwerke Arbon die im Bau befindliche Überbauung Bleiche II und die bestehende Überbauung Bleiche I mit Wärme ab der Zentrale Salwiese. Die Wärmeleistung der Heizzentrale Salwiese wurde dafür von ca. 150 kW<sub>th</sub> auf 540 kW<sub>th</sub> massiv erweitert und das bestehende Heizprovisorium in der Bleiche anschliessend rückgebaut.

Am bestehenden Konzept der bivalenten Wärmeerzeugung wurde dabei festgehalten. Es wurden zusätzlich zur bestehenden drei neue Wärmepumpen und die Abwasserwärmentnahme neu installiert. Als Wärmequelle für die Wärmepumpen wird weiterhin gereinigtes Abwasser ab ARA verwendet.

Aufgrund der absehbaren raschen Bebauung und des daraus resultierenden hohen Wärmeleistungsbedarfs, wurde der geplante Ersatz des Reservekessels durch einen mit 720 kW<sub>th</sub> vorgezogen und bereits im Herbst 2003 durchgeführt.

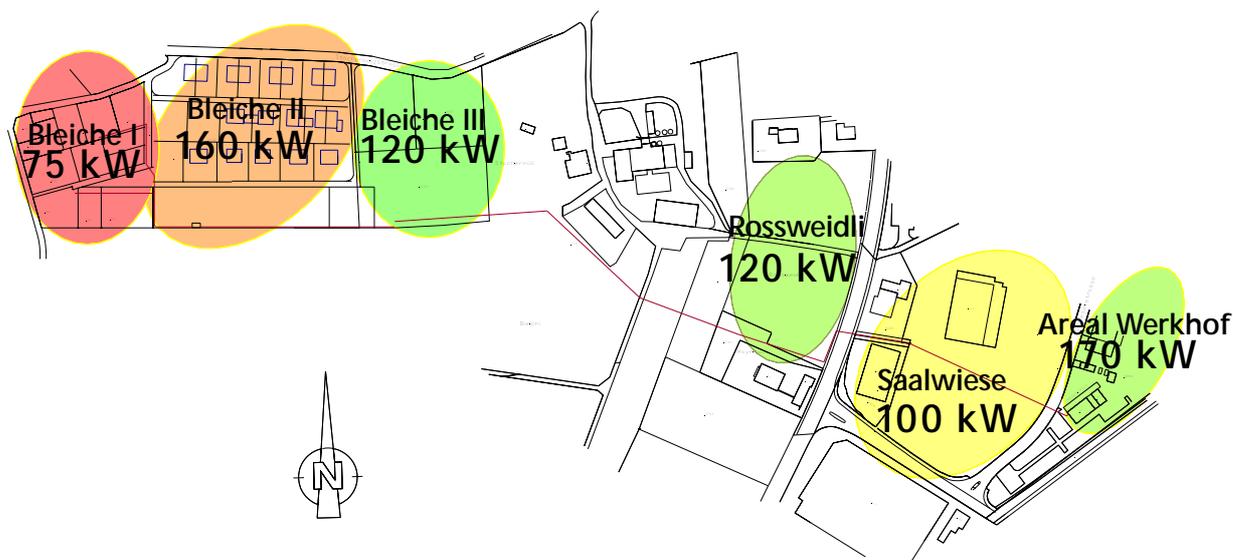
### 2.2 Ausbautappen Nahwärmeverbund

Die Überbauung Bleiche II ist bereits teilweise realisiert bzw. im Bau. Der Gesamtausbau Bleiche II und der Ausbau Bleiche III wird per Ende 2004 erwartet. Die Gebiete Rossweidli und Saalwiese werden erst später überbaut. Somit kann grundsätzlich von zwei Ausbautappen mit folgenden Anschlussleistungen ausgegangen werden:

Wärmebezugsgebiet	Ausbautappe Erweiterung	Ausbautappe Endausbau
Areal Werkhof	170 kW	170 kW
Bleiche I	75 kW	75 kW
Bleiche II	160 kW	160 kW
Bleiche III	120 kW	120 kW
Rossweidli	0	120 kW
Saalwiese	0	100 kW
Netzverluste	15kW	20kW
<b>Gesamtverbund</b>	<b>540 kW</b>	<b>760 kW</b>

Abbildung/Tabelle 1 - Anschlussleistungen Ausbautappen

Geografisch sieht das Versorgungsgebiet wie folgt aus:



Abbildung/Tabelle 2 - Versorgungsgebiet

Das Nahwärmenetz wird nur während der Heizsaison betrieben. Die Brauchwarmwasseraufbereitung erfolgt separat. Die einzelnen Wärmebezüge werden in der Regel direkt angeschlossen.

### 2.3 Ausbau Heizzentrale

Entsprechend den zwei vorgesehenen Netzausbauetappen wurde folgende Etappierung der Wärmeerzeugung zugrundegelegt:

- Erweiterung 2002-2003:  
zusätzliche Wärmepumpen mit total  $300 \text{ kW}_{\text{th}}$ , ein neuer Abwasserwärmetauscher  $290 \text{ kW}_{\text{th}}$  mit Pumpe und Filteranlage für die neuen und die bestehende Wärmepumpe
- Ersatz Reserve-/Notkessel 2003:  
ein modulierender Ölkessel mit  $720 \text{ kW}_{\text{th}}$

Die neuen Wärmepumpen wurden auf die Endausbauleistung dimensioniert. Sie decken zusammen mit der bestehenden Wärmepumpe folgenden Leistungs- und Wärmebedarf ab:

<b>Auslegung Wärmepumpen</b>	<b>Ausbau 2002</b>	<b>Endausbau</b>
Anteil <b>Wärmeleistungsbedarf</b> , der durch die Wärmepumpen abgedeckt wird	ca. 70 %	ca. 50 %
Anteil <b>Wärmebedarf</b> , der durch die Wärmepumpen abgedeckt wird	ca. 95 %	ca. 90 %

Abbildung/Tabelle 3 - Deckung Leistungs- und Wärmebedarf durch Wärmepumpen

### 3. Auslegung

#### 3.1 Wärmeerzeugung

Die Wärmeerzeugung ist für einen bivalenten Betrieb ausgelegt und besteht aus vier Wärmepumpen und einem Ölkessel. Als Wärmequelle dient gereinigtes Abwasser aus der nahegelegenen ARA.

Neben der bestehenden Wärmepumpe von Satag Thermotechnik AG wurden drei neue Wärmepumpen desselben Lieferanten installiert.

Der Ölkessel von Viessmann AG mit 720 kW<sub>th</sub> dient als sogenannter Spitzenlastkessel der Abdeckung der Wärmelastspitzen und als Notkessel beim Ausfall von Wärmepumpen.

Die technischen Eckwerte der Heizzentrale sind nachfolgend zusammengestellt:

Anlage	Ausbau 2002	Endausbau
Wärmeleistungsbedarf max.	540 kW	760 kW
Wärmeleistung bestehende Wärmepumpe max.	80 kW	80 kW
Wärmeleistung bestehender Kessel max.	170 kW	-
Wärmeleistung neuinstallierte Wärmepumpe max.	300 kW	300 kW
Wärmeleistung neuinstallierter Kessel	-	720 kW
Wärmeleistungsbedarf durch Wärmepumpen abgedeckt	ca. 70 %	ca. 50 %
Abdeckung Wärmeleistungsbedarf bei Ausfall grösste Einheit	70 %	50 %
Wärmebedarf durch Wärmepumpen abgedeckt	ca. 95 %	ca. 90 %
Wärmespeicherinhalt (technischer Speicher)	8 m <sup>3</sup>	8 m <sup>3</sup>
Netzauptvor-/rücklauftemperatur bei T <sub>A</sub> = -8 °C (gleitend)	48 / 35 °C	48 / 35 °C

Abbildung/Tabelle 4 - Energietechnische Eckwerte

Das hydraulische Schema der Heizzentrale befindet sich in Anhang 6.1.

In Anhang 6.2 liegen Fotos der Heizzentrale bei.

### 3.1.1 Wärmepumpen

Alle vier Wärmepumpen verfügen über zwei vollkommen autonome Wärmepumpenkreise, also zwei Stufen. Dies erlaubt eine stufenweise Leistungsregelung von 0 auf 100 % in 12,5-%-Schritten. Damit ist die Modulation der Wärmeleistung genügend gut sichergestellt, d.h. auf die Installation von zusätzlichen Wärmespeichern konnte verzichtet werden und die bestehenden Speicher mit 8 m<sup>3</sup> Inhalt dienen als technische Speicher.

Die Wärme wird mittels Umwälzpumpen (Zwischenkreispumpen) im Abwasserwärmetauscher dem Abwasser entzogen und den Wärmepumpen zugeführt. Um Einfrieren zu verhindern, ist der Zwischenkreis mit einem 27-%-igen Glykol-Wassergemisch befüllt.

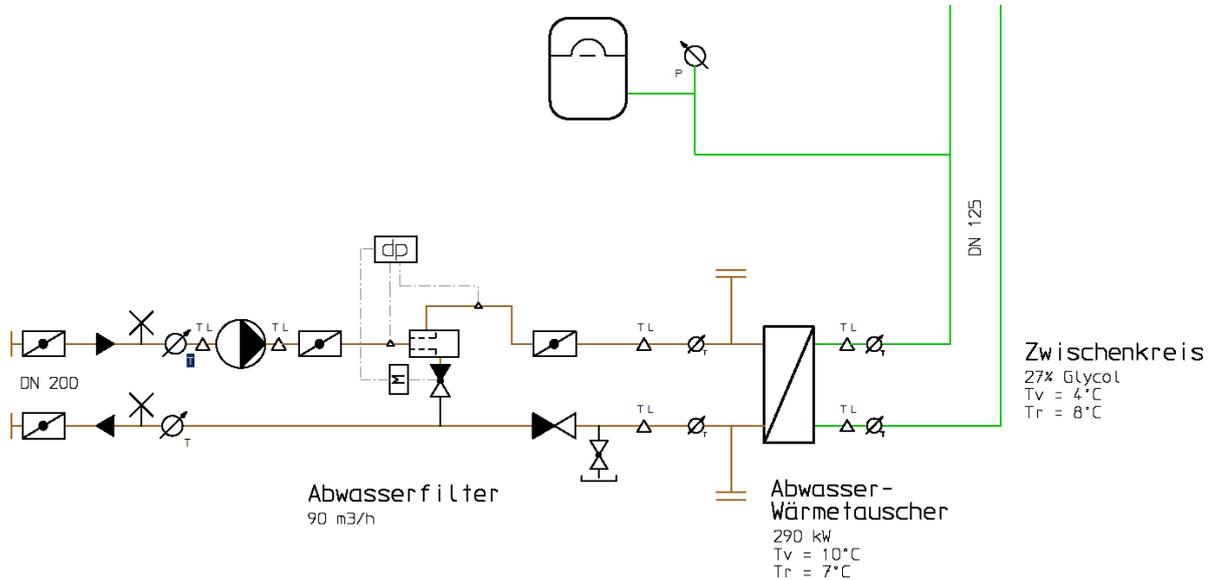
Die Wärmepumpen sind durch den Speicher hydraulisch vom Nahwärmenetz entkoppelt. Die Ladung des Speichers erfolgt durch die Umwälzpumpen (Speicherladepumpen) mittels einer Stufenladung, d.h. die Vorlauftemperatur der Wärmepumpen auf den Speicher wird nicht geregelt. Durch die Stufenladung wird gegenüber der Schichtladung (konstante WP-Austrittstemperatur) eine höhere Jahresarbeitszahl erreicht.

<b>Bestehende Wärmepumpe</b>	
Anzahl Kältekreise	2
Kondensationsleistung	80 kW
Regelbereich	2-stufig, 50 und 100 %
Auslegungstemperaturen Kaltseite	8 °C / 4 °C
Auslegungstemperaturen Warmseite	55 °C / 45 °C
<b>Neuinstallierte Wärmepumpen (je Wärmepumpe)</b>	
Anzahl Kältekreise	2
Kondensationsleistung	100 kW
Regelbereich	2-stufig, 50 und 100 %
Auslegungstemperaturen Kaltseite	8°C / 4°C
Auslegungstemperaturen Warmseite	55 °C / 45 °C

Abbildung/Tabelle 5 - Technische Eckwerte Wärmepumpen

### 3.1.2 Abwassersystem

Da an der Anlage Salwiese-Bleiche die Wärmequelle eine Spezialität darstellt und wie erwartet in der Einregulierungsphase auch Probleme in diesem Bereich aufgetreten sind, wird nachfolgend etwas detaillierter auf das Abwassersystem eingegangen:



Abbildung/Tabelle 6 - Prinzipschema Abwassersystem

Das gereinigte Abwasser wird ausgangs ARA aus dem Kanal Richtung Bodensee entnommen und über eine Leitung und Schmutzfilter in den Abwasserwärmetauscher in der Heizzentrale gefördert. Nach dem Wärmetauscher wird das Wasser in den Abwasserkanal zurückgeleitet. Die Abwassertemperatur und -menge reichen in der Regel (nicht bei Revisionen etc.) aus, um alle vier Wärmepumpen mit genügend Wärme zu versorgen. Nachfolgend sind die Eckdaten der Hauptkomponenten des Abwassersystems, das in der Zentrale Salwiese-Bleiche als Wärmequelle dient, dargestellt:

<b>Abwasserwärmetauscher</b>	
Bauart	Plattenwärmetauscher 5 mm Kanalquerschnitt (free-flow)
Reinigung	Spülstutzen 2" und/oder Plattendemontage
Wärmeübertragungsleistung	290 kW
Abwasserseite Vor-/Rücklauftemperatur	10 °C / 7 °C
Zwischenkreisseite Vor-/Rücklauftemperatur	8 °C / 4 °C
Volumenstrom Abwasser	82 m <sup>3</sup> /h
Wärmetauscherfläche (inkl. 22 % Reserve)	60.6 m <sup>2</sup>
<b>Abwasserpumpe</b>	
Bauart	Abwassertauchpumpe für Trockenaufstellung
Volumenstrom	95 m <sup>3</sup> /h
Förderhöhe	7.5 m / 0.73 bar

maximale Festpartikelgrösse	ø 80 mm
Wirkungsgrad im Betriebspunkt	64 %
<b>Abwasserfilter</b>	
Bauart	Bernoulli Filter selbstreinigender Korbfilter mit Steuerung der Reinigungsintervalle in Abhängigkeit der Verschmutzung und Betriebsdauer
Funktionsprinzip	Rückspülung mittels Bernoulli-Prinzip
Volumenstrom (Normalbetrieb)	ca. 82 m <sup>3</sup> /h
Volumenstrom (bei Spülung)	ca. 82 + 13 m <sup>3</sup> /h
Volumenstrom max.	ca. 125 m <sup>3</sup> /h
Filterfeinheit	0.8 mm (ursprünglich 0.3 mm)
maximale Festpartikelgrösse	ø 40 mm
Spüldauer	ca. 30 sek.
Spülauslösung	festes, einstellbares Zeitintervall und Differenzdruck über Filter

Abbildung/Tabelle 7 - Technische Eckwerte Abwassersystem

### **Untersuchte Alternativen**

Aufgrund der Erfahrungen mit der bereits bestehenden kleinen Anlage, wurde dem Abwassersystem, insbesondere dem Wärmetauscher und Filter in der Planung und Auslegung grosse Beachtung geschenkt. Es wurden deshalb neben den schlussendlich gewählten und oben dargestellten Komponenten noch folgende Systeme/Komponenten evaluiert:

#### Abwasserwärmetauscher

- Bauart Rohrbündelwärmetauscher
- Rohrrinnendurchmesser 14 mm (eher knapp)
- 2 Tauscher mit 6 m Länge  
0.41 m Durchmesser

Aufgrund der hohen Kosten und sehr grossen Dimensionen, sowie der Tatsache, dass vergleichbare Anlagen alle mit Plattenwärmetauschern ausgerüstet sind, wurde das Konzept mit einem Rohrbündelwärmetauscher verworfen.

#### Abwasserfilter

- Mehrfach Beutelfilteranlage:  
wurde aufgrund des zu hohen manuellen Aufwandes für die Reinigung verworfen
- automatischer Rückspülfilter mit acht zyklisch rückgespülten Filterelementen:  
wurde aufgrund von beweglichen Teilen im Abwasser, welche durch Verschmutzung früher oder später Probleme und hohen Wartungsaufwand verursachen könnten, und den hohen Kosten verworfen.
- Kantenspaltfilter:  
sind ungeeignet für Abwasser und teuer im Betrieb/Unterhalt.
- Schrägsitz-Autoflush:  
hat Probleme mit der Rückspülung von Abwasser mit Algen.

### 3.1.3 Reservekessel

Der Reservekessel ist mit einem modulierenden Ölbrenner ausgerüstet. Die Ladung des Speichers erfolgt durch eine Umwälzpumpe, die Rücklaufhochhaltung wird mit einer Beimischpumpe realisiert. Die Vorlauftemperaturregelung erfolgen durch die übergeordnete SPS. Die Leistungsregelung des Brenners erfolgt durch die Brennersteuerung auf einen durch die SPS vorgegebenen Kesselvorlauftemperatursollwert.

<b>Reservekessel</b>	
Wärmeleistung	650 kW
Regelbereich	modulierend, 35 und 100 %
max. Kessel-Betriebstemperatur	95 °C
min. Kessel-Rücklauftemperatur	53 °C
Auslegetemperatur Speicherladekreis	40 °C / 58 °C
Nenndruck	6 barü
<b>Heizöltank</b>	
Inhalt	41'840 l
Aufstellung	bestehend, Innenaufstellung auf gleichem Niveau wie Heizzentrale

Abbildung/Tabelle 8 - Technische Eckwerte Reservekessel

### 3.1.4 Expansion, Druckhaltung und Entgasung

Die Ausdehnung des Heizungswassers im Heizbetrieb übernimmt ein Expansionsautomat, bestehend aus zwei Expansionsgefäßen und einem Luftkompressor. Der Expansionsautomat stellt auch die erforderliche Druckhaltung im Wärmeverteilsystem sicher.

Für die Entgasung des Heizungswassers wurde ein Entgaser mit vollautomatischer Nachspeisung eingesetzt. Dieser schützt die Anlage vor Korrosion, Fließgeräuschen und Kavitation der Pumpen. Die Nachspeisung wird ausgelöst, wenn das Wasserniveau im Ausdehnungsgefäß unter das zulässige Minimum sinkt. Er wird beendet, wenn der Wasserinhalt des Ausdehnungsgefäßes auf den Normalwert zurückgekehrt ist.

## 3.2 Wärmeverteilung

Die Wärmeverteilung zu den einzelnen Häusern erfolgt mit einem erdverlegten Verteilnetz. Dabei werden vorisolierte Stahlrohre mit Kunststoffmantel (KMR) sowie bei den Hausanschlüssen zum Teil flexible Kunststoffrohre (Calpex) eingesetzt. Die einzelnen Anschlüsse sind direkt an das Nahwärmeverteilnetz angebunden, d.h. es ist keine hydraulische Trennung vorhanden. Dieses System hat vor allem Vorteile auf der Kostenseite, da beim Wärmebezügler sämtliche Installationen wie Heizungspumpe und Expansionsanlage entfallen. Ein weiterer Vorteil ist, dass keine Temperaturverluste durch die Grädigkeit des Wärmetauschers entstehen, was insbesondere bei Wärmepumpenanlagen wichtig ist, da diese mit möglichst tiefen Vorlauftemperaturen betrieben werden sollen. Zusätzlich werden sämtliche Energien durch die Zentrale geliefert, so für die interne Umwälzung des Heizwassers (direkter Anschluss) und auch für die Regulierung durch Anschluss und Versorgung via Bus-System. Die so ermittelte Jahresarbeitszahl berücksichtigt also auch diese Verbraucher.

Die zwei Fernwärmepumpen in der Heizzentrale sind in Serie geschaltet und werden nach dem Differenzdruck im Netzschlechtpunkt drehzahlregelt. Als Redundanz kann auf den Differenzdruck über die Pumpen umgeschaltet werden.

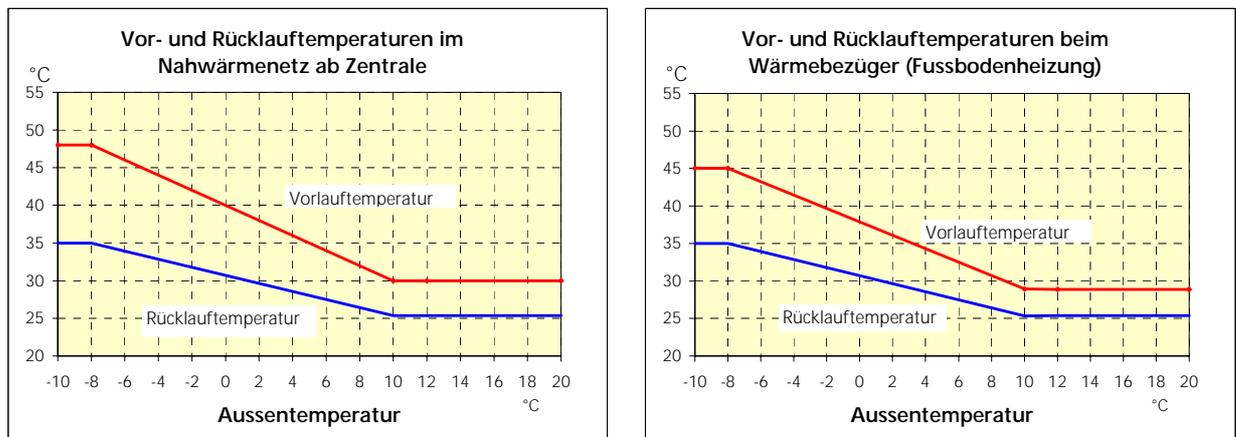
### 3.2.1 Wärmebezügler

Die Vorlauftemperatur des Fernwärmeastes Bleiche wird gleitend nach der Aussentemperatur geregelt. Die maximale VL-Temperatur beträgt dabei 45°C bei einer Aussentemperatur von – 8°C, bei einer Temperaturspreizung VL/RL in diesem Punkt von 10K.

Diesen Vorgaben sind in der Technischen Spezifikation der Stadtwerke Arbon AG für die Anschlüsse der Wärmebezügler festgehalten.

### 3.2.2 Fernwärmeleitung Bleiche

Durch die Systemwahl (direkte Einbindung, Synergry) liegen auf der FW-Leitung gezwungenermassen dieselben Temperaturverhältnisse vor wie bei den Wärmebezüglern. Um die erforderliche VL-Temperatur bei den Wärmebezüglern zu garantieren wird die Vorlauf-Temperatur in der Wärmeerzeugung um ca. 3 °C bei – 8 °C Aussentemperatur angehoben und somit eine steilere Heizkennlinie eingestellt.



Abbildung/Tabelle 9 - Heizkennlinien Nahwärmenetz und Wärmebezügler

### **3.3 Betrieb**

#### **3.3.1 Betriebskonzept Wärmeerzeugung**

Die neuen Wärmepumpen werden auf die mutmassliche Endausbauleistung bei  $-8\text{ °C}$  Aussentemperatur dimensioniert. Jede Maschine verfügt über zwei Stufen mit je 50% Leistung. In Verbindung mit dem Wärmespeicher ist somit eine stufenlose Leistungsabgabe möglich.

Die Wärmepumpen decken die Wärmegrundlast ab.

Der Reservekessel dient zur Abdeckung der Wärmelastspitzen und als Reserveeinheit bei Ausfall von Wärmepumpen.

Der bestehende Wärmespeicher dient als sogenannt technischer Speicher der Einhaltung der minimalen Laufzeiten der Wärmeerzeuger und als hydraulische Entkopplung von Erzeugern und Verbrauchern.

#### **3.3.2 Steuerung Wärmeerzeugung (Speicherbewirtschaftung)**

Die Wärmeerzeugung (Wärmepumpen, Kesselfreigabe, Speicherbewirtschaftung etc.) wird vollautomatisch durch die neuinstallierte SPS (speicherprogrammierbare Steuerung) gesteuert und geregelt. Die Wärmeerzeugung geht automatisch aufgrund der Aussentemperatur in den Heizbetrieb bzw. ausser Betrieb.

Abhängig von der Aussentemperatur errechnet die SPS einen Sollwert für die Speichertemperatur. Dieser liegt einige  $\text{°C}$  (parametrierbar für Tag- und Nachtbetrieb) über dem Sollwert für die Vorlauftemperatur des Fernwärmeastes Bleiche. Der Istwert der Speichertemperatur wird aus den vier Temperaturfühlern im Speicher ermittelt. Aus der Differenz zwischen Soll- und Istwert wird die benötigte Wärmeproduktionsleistung bzw. die erforderliche Anzahl Wärmepumpenstufen (4 Wärmepumpen à je 2 Stufen, d.h. 0 bis 8 Stufen) ermittelt. Um alle Wärmepumpen gleichmässig zum Einsatz zu bringen, erfolgt eine zyklische Weiterschaltung der Priorität der Wärmepumpen 1 bis 4.

Reicht das Einschalten aller vier Wärmepumpen bzw. acht Stufen nicht aus um den Sollwert der Speichertemperatur zu erreichen, wird nach einer parametrierbaren Zeit und nach Absinken der Speicheraustrittstemperatur unter den Sollwert für die Vorlauftemperatur des Fernwärmeastes Bleiche der Reservekessel freigegeben.

Erreicht der Istwert für die Speichertemperatur wieder den Sollwert, werden in umgekehrter Reihenfolge (zuerst der Reservekessel, dann die Wärmepumpenstufen 8 bis 0) die Wärmeerzeuger wieder ausgeschaltet.

#### **3.3.3 Betriebsprotokoll**

Um die Funktion der Anlage und ihre Effizienz zu überwachen werden wöchentlich die wichtigsten Daten auf der Anlage abgelesen und im Betriebsprotokoll festgehalten. Basierend darauf werden Auswertungen vorgenommen.

#### **3.3.4 Anlagenprotokoll**

Änderungen von Parametern, Fehlfunktionen, Störungen, Arbeitsgänge jeglicher Art und Wartungsarbeiten sind bei jedem Anlagebesuch entsprechend festzuhalten. Dadurch können bei Störungen oder Fehlfunktionen mögliche Ursachen eher erkannt und entsprechend besser beurteilt werden.

## 4. Betriebserfahrungen

### 4.1 Inbetriebsetzung

Nach einer zügigen Installation fand die Inbetriebsetzung der erweiterten Heizzentrale im Dezember 2002 ohne nennenswerte Probleme statt.

- Problem/Störung:  
Beim ersten Öffnen des Filters nach der Betriebsaufnahme wurde eine grosse Menge von Algen und Kleinlebewesen (Krebse, Muscheln, Schnecken etc.) im Filter vorgefunden. Diese Feststellung, aber nicht mehr in der gleich starken Ausprägung, wurde später nochmals, nach einem ca. zweiwöchigen Betriebsunterbruch, gemacht.  
Ursache:  
Als Ursache sehen wir den Umstand, dass bei keinem Wärmebedarf die Abwasserleitung mit stehendem Wasser gefüllt bleibt und sich darin Lebewesen festsetzen und entwickeln konnten.  
Abhilfemassnahme:  
Als Abhilfemassnahme wurde die Steuerung so programmiert, dass jeden Tag zwischen 05:00 und 06:00 Uhr unabhängig vom Wärmebedarf immer mindestens eine Wärmepumpe und damit auch das Abwassersystem in Betrieb gesetzt wird. Dies hat in der Übergangszeit den zusätzlichen Nutzen, dass das Wärmenetz und die Speicher auch bei mehreren Tagen mit keinem oder sehr kleinem Wärmebedarf nicht auskühlen.

### 4.2 Betrieb ab Inbetriebsetzung bis April 2004

Im ersten vollen Betriebsjahr vom Januar 2003 bis April 2004 traten vor allem im Abwassersystem Störungen und Probleme auf. Diese sind mit den vermuteten Ursachen und den ergriffenen Abhilfemassnahmen nachfolgend beschrieben.

#### 4.2.1 Abwassersystem

- Problem/Störung:  
Bereits in der Altjahrswoche 2002 trat am Filter ein Störung auf. Diese trat im weiteren Betriebsverlauf im Abstand von ein paar Tagen bis zwei Wochen noch ca. 6 Mal auf. Sie äusserte sich dadurch, dass die Differenzdrucküberwachung des Filters dauernd ansprach und so der Filter dauernd gereinigt wurde, was teilweise zu einer Störung im Pneumatikzylinder für die Reinigung führte.  
Ursache:  
Wie sich herausstellte führten Steine mit einem Durchmesser von ca. 1.5 cm zum Verstopfen einer Drosselblende in der Abschlammleitung, d.h. es konnte gar nicht mehr abgeschlammmt werden und der Filter setzte sich mit Algen zu. Kleinere Steine und Kies konnten ungehindert passieren, grössere Steine wurden keine festgestellt, sie waren offenbar zu schwer um von der Strömung mitgerissen zu werden. Es konnte nicht eindeutig festgestellt werden, ob die Steine den Weg durch die Kläranlage genommen hatten oder, ob es sich dabei um Baurückstände in der Abwasserzuleitung zur Heizzentrale handelt.  
Abhilfemassnahme:  
Im Rahmen der Abklärungen wurde festgestellt, dass die Blende in der Abschlammleitung aufgrund einer falschen Auslegung durch den Lieferanten nicht nötig war; sie wurde entfernt. Zusätzlich wurde vor der Abwasserpumpe ein „Steinsammler“ (T-Stück mit Blindflansch) installiert, in welchem sich allfällig mitgeschleppte Steine absetzen können.

- Problem/Störung:  
Der Filterkorb wurde zeitweise von Algenfäden zugesetzt, auch auf der Sauberwasserseite war ein Algenfilz festzustellen.

Ursache:  
Die Ursache dafür lag darin, dass ein Ende eines Algenfadens durch eine Masche und das andere Ende durch die danebenliegende Masche des Filterkorbes gespült wurde. So konnten sich die Enden dieser Algenfäden auf der Sauberwasserseite des Filterkorbes gegenseitig ineinander verhedderten und nicht mehr durch die automatische Reinigung entfernt werden.

Abhilfemassnahme:  
Der Filterkorb von anfänglich 0.3 mm Maschenweite wurde durch einen mit 0.8 mm ersetzt. Die Situation konnte dadurch zwar merklich verbessert werden, war aber immer noch nicht optimal. Es wurde beschlossen, den Filterkorb durch einen Lochblechfilterkorb zu ersetzen. Da hier die Löcher durch breitere Stege voneinander getrennt sind, konnte das Verheddern der Algenfäden weiter vermindert bzw. verunmöglicht werden.
- Beobachtung:  
Die Grädigkeit des Abwasserwärmetauschers lag bei der Inbetriebsetzung bei ca. 1 °C. Ausgelegt ist der Tauscher auf eine Grädigkeit von 2 °C. Im ersten halben Betriebsjahr konnte eine Verschlechterung auf ca. 3 °C festgestellt werden.

Ursache:  
Die Ursache dafür ist, wie erwartet, die Verschmutzung bzw. Biofilmbildung auf den Tauscherflächen.

Abhilfemassnahme:  
Der Plattentauscher wurde im Sommer 2003 mittels der dafür vorgesehenen Spülanschlüsse chemisch gespült. Die Grädigkeit konnte dadurch stark verbessert werden, erreichte aber nicht ganz die Werte anlässlich der Inbetriebsetzung. In der Heizperiode 2003/04 verschlechterte sich die Grädigkeit anfänglich langsam und kontinuierlich. Im Januar 2004 war sie schliesslich so schlecht war, dass bei Betrieb aller vier Wärmepumpen die Temperaturen im Zwischenkreis unter die Abschaltwerte der Frostschutzthermostaten fielen. Eine chemische Reinigung brachte nicht den gewünschten Erfolg, da der Biofilm einen recht hohen, von Auge gut sichtbaren Fettanteil aufwies. Der Wärmetauscher wurde deshalb geöffnet und manuell gereinigt. Von der Konsistenz liess sich der Biofilm mit Wasserschlauch und Schwamm gut entfernen. Zur besseren Lösung des Fettes wurde ein handelsübliches Reinigungsmittel eingesetzt. Siehe dazu die Fotos in Anhang 6.3. Die Grädigkeit erreichte danach nicht mehr ganz die Werte im Neuzustand.

Anlässlich der manuellen Reinigung wurden Proben der Verschmutzung genommen und analysiert. In der nächsten Heizperiode wird häufiger chemisch gereinigt. Der genaue Vorgehensplan, die ein zu setzenden Reinigungsmittel und die Häufigkeit sind aber noch zu definieren bzw. der Betreiber muss sich herantasten.

#### 4.2.2 Heizzentrale allgemein

Einige aufgetretene Probleme und vorgenommene Optimierungen an der Anlage sollen hier nicht unerwähnt bleiben.

- Problem/Störung:  
Der Ölkessel, zur Zeit als Reserve- und Notkessel vorgesehen, war zu oft in Betrieb.  
Ursache:  
Die Kesselfreigabe erfolgte auch, sobald eine der Wärmepumpen auf Störung war.  
Abhilfemassnahme:  
Die Kesselfreigabe erfolgt neu nur noch über Lastsignal der Wärmepumpenstufen. Zusätzlich wurde der Lastregler der Wärmepumpen optimiert, dazu wurde temporär ein GSM-Modem für Fernzugriff auf die SPS installiert.
- Problem/Störung:  
Die Zeiger in den Manometern vor und nach dem Filter vibrierten, man konnte den Differenzdruck über den Filter nicht sauber ablesen.  
Ursache:  
Vibrationen von z.B. der Pumpe konnten ausgeschlossen werden, die Ursache sind vermutlich lokale Strömungsturbulenzen.  
Abhilfemassnahme:  
Es wurden gefüllte und damit gedämpfte Manometer eingesetzt.
- Problem/Störung:  
Einzelne Wärmebezüge hatten kalt.  
Ursache:  
Die Heizung einzelner Wärmebezüge war teilweise schlecht oder gar nicht entlüftet und der Wärmebedarf lag in der Bautrocknungsphase höher als im späteren Normalbetrieb.  
Abhilfemassnahme:  
Die betroffenen Objekte wurden (nochmals) entlüftet und die Fernwärmenetz-Vorlauf-temperatur im Ast Bleiche wurde temporär etwas angehoben.
- Problem/Störung:  
Im Speicherladekreis einer Wärmepumpe trat ein Leck auf.  
Ursache:  
Bei warmen Aussentemperaturen waren die Wärmepumpen mehrere Tage hintereinander ausser Betrieb, so dass das System auskühlen konnte und eine der zur Schwingungsdämpfung installierten Schlauchverbindung undicht wurde.  
Abhilfemassnahme:  
Es wurden alle Verbindungen nachgezogen.

## 5. Energetische Auswertungen erstes Betriebsjahr

### 5.1 Ziel der Auswertung

Mit den Auswertungen soll die Effizienz der Wärmepumpenanlagen nachgewiesen werden. Zudem sind die Auslegungs- und die Dimensionierungsgrundlagen zu verifizieren.

### 5.2 Vorgehen der Erfassung und Definition der Messwerte

Für die Erfassung der Messwerte wurde ein Betriebsprotokoll (Anhang 6.4) erstellt, womit periodisch die wichtigsten Werte durch das Personal der Stadtwerke Arbon abgelesen und erfasst werden. Die Aufschreibungen erfolgen in der Regel wöchentlich. Folgende Werte werden erfasst:

Nr.	Anlagenteil	Bezeichnung	Messgerät	Einheit	Grundlage für
1	Wärmepumpe 1	Betriebsstunden Kompressor 1	SPS Wärmepumpe	h	Laufzeit, Belastung, durchschnittliche Wärmeleistung
2	Wärmepumpe 1	Betriebsstunden Kompressor 2	SPS Wärmepumpe	h	
3	Wärmepumpe 1	Anzahl Starts Kompressor 1	SPS Wärmepumpe	-	
4	Wärmepumpe 1	Anzahl Starts Kompressor 2	SPS Wärmepumpe	-	
5	Wärmepumpe 2	Betriebsstunden Kompressor 1	SPS Wärmepumpe	h	Laufzeit, Belastung, durchschnittliche Wärmeleistung
6	Wärmepumpe 2	Betriebsstunden Kompressor 2	SPS Wärmepumpe	h	
7	Wärmepumpe 2	Anzahl Starts Kompressor 1	SPS Wärmepumpe	-	
8	Wärmepumpe 2	Anzahl Starts Kompressor 2	SPS Wärmepumpe	-	
9	Wärmepumpe 3	Betriebsstunden Kompressoren	SPS Wärmepumpe	h	Laufzeit, Belastung, durchschnittliche Wärmeleistung
10	Wärmepumpe 3	Anzahl Starts Kompressoren	SPS Wärmepumpe	-	
11	Wärmepumpe 4	Betriebsstunden Kompressor 1	SPS Wärmepumpe	h	Laufzeit, Belastung, durchschnittliche Wärmeleistung
12	Wärmepumpe 4	Betriebsstunden Kompressor 2	SPS Wärmepumpe	h	
13	Wärmepumpe 4	Anzahl Starts Kompressor 1	SPS Wärmepumpe	-	

Nr.	Anlagenteil	Bezeichnung	Messgerät	Einheit	Grundlage für
14	Wärmepumpe 4	Anzahl Starts Kompressor 2	SPS Wärmepumpe	-	
15	Abwasserfilter	Anzahl Spülungen	Zähler im Filtersteuerkasten	-	Indiz für Filterverschmutzung
16	Anlage	Elektrischer Bezug NT und HT	Elektrozähler geeicht	kWh	Ermittlung JAZ
17	Reserve-/Notkessel	Heizölverbrauch	Ölzähler neben dem Kessel	l	Anteil Wärmeproduktion, Kesselaufzeit
18	Anlage	Wärmezähler Wärmepumpen	Energierechner im Schaltschrank	MWh	Ermittlung COP und JAZ, Anteil Wärmeproduktion
19	Anlage	Wärmezähler Bleiche	Energierechner im Schaltschrank geeicht	MWh	Ermittlung JAZ
20	Anlage	Wärmezähler Werkhof	Energierechner im Schaltschrank	MWh	Ermittlung JAZ
21	Anlage	Wärmezähler Gewächshaus	Energierechner im Schaltschrank	MWh	Ermittlung JAZ
22	Umwälzpumpe Nahwärmenetz	Stromverbrauch	Zähler auf Frequenzumrichter	kWh	
23	Umwälzpumpe Nahwärmenetz	Betriebsstunden	Zähler auf Frequenzumrichter	h	Überwachung
24/25	Abwasser	Temperaturen Ein/Austritt	Thermometer	°C	Beurteilung JAZ und Grädigkeit
26/27	Zwischenkreis	Temperaturen Ein/Austritt	Thermometer	°C	Beurteilung JAZ und Grädigkeit
28/29 / 30/31	Speicher	Temperaturen Speicher 1 und 2, oben/unten	Thermometer	°C	Vergleich mit Auslegung
32	Nahwärmenetz	Vorlauftemperatur	Thermometer	°C	Vergleich mit Auslegung
33	Nahwärmenetz	Vorlauftemperatur Soll-Wert	Nahwärmenetzregler	°C	Vergleich mit Auslegung
34	Anlage	Aussentemperatur	Nahwärmenetzregler	°C	Vergleich mit Auslegung

Abbildung/Tabelle 10 - Erfasste Messwerte

### 5.3 Hilfsbetriebe (nicht separat gemessene Daten)

Die Energieverbräuche der Hilfsbetriebe werden auf der Anlage nicht gemessen. Um dennoch Kennzahlen bilden zu können sind nachfolgend die Daten der Hauptverbraucher in ihrem Betriebspunkt gemäss Kennlinien und Datenblättern aufgeführt:

Hilfsbetrieb	Elektrische Leistungsaufnahme im Betriebspunkt
Abwasserpumpe	3.0 kW (einstufig)
Abwasserfilter	0.1 kW für die Steuerung und die Druckluftherzeugung für die Reinigung (geschätzt)
Zwischenkreispumpen (1 pro WP)	0.5 kW pro Pumpe
Speicherladekreispumpen (1 pro WP)	0.2 kW pro Pumpe
Netzpumpen Fernwärmeast Bleiche	3.6 kW pro Pumpe, beim aktuellen Ausbaustand ist aufgrund der Druckverluste im Netz nur eine Pumpe erforderlich
Netzpumpe Werkhof	0.2 kW (geschätzt)
Netzpumpe Gewächshaus	0.08 kW (geschätzt)
Steuerung und allgemeine Hilfsbetriebe	0.3 kW (geschätzt)

Abbildung/Tabelle 11 - Elektrische Leistung Hilfsbetriebe

### 5.4 Auswertung und Analyse

#### 5.4.1 Jahresauswertung

Es wird die Periode Mitte Juni 2003 bis 11. Juni 2004 ausgewertet. Nachfolgend sind die Wärmepumpen-spezifischen Daten zusammengefasst:

	Einheit	WP 1		WP 2		WP 3 <sup>1</sup>	WP 4	
		1	2	1	2	1 & 2	1	2
<b>Kompressor:</b>								
Betriebsstunden	h	2'196	2'965	2'444	2'446	2'999	1'108	1'107
Anzahl Starts	-	2'592	2'352	3'095	3'058	1'285	1'869	1'701
Durchschnittliche Laufzeit	min	51	76	47	48	140	36	39

Abbildung/Tabelle 12 - Betriebsdaten Wärmepumpen

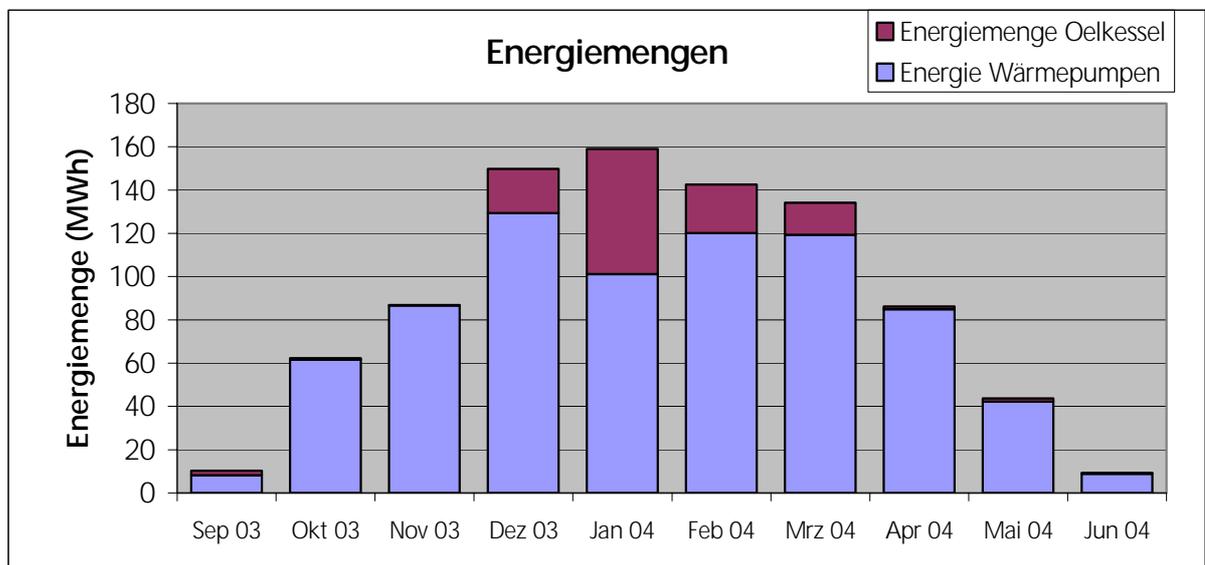
<sup>1</sup> Bei der Wärmepumpe 3, der bereits vor dem Ausbau bestehenden Maschine, werden die Daten nicht pro Kompressor erfasst

Die energetischen Daten der Gesamtanlage sehen wie folgt aus:

	Ist-Wert	Leistung	Volllaststunden
Wärme von Wärmepumpen	762.4 MWh	368 kW <sup>2</sup>	2072 h/a
Wärme vom Kessel	136.9 MWh <sup>3</sup>	720 kW	190 h/a
Total erzeugte Wärme	899.3 MWh	1'100 kW	818 h/a
Total ins Fernwärmenetz abgegebene Wärme	866.0 MWh	450 kW <sup>4</sup>	1'924 h/a
Gesamt-Elektroenergiebezug	223.7 MWh		
Mittlere JAZ aller vier Wärmepumpen	3.41 <sup>5</sup>		
Anzahl Spülzyklen Abwasserfilter	12'329		
Betriebsstunden Wärmeverbund	6'276 h		
Durchschnittliches Spülintervall	31 min		

Abbildung/Tabelle 13 - Betriebsdaten Gesamtanlage

#### 5.4.2 Monatsauswertung des Winters 2003/04



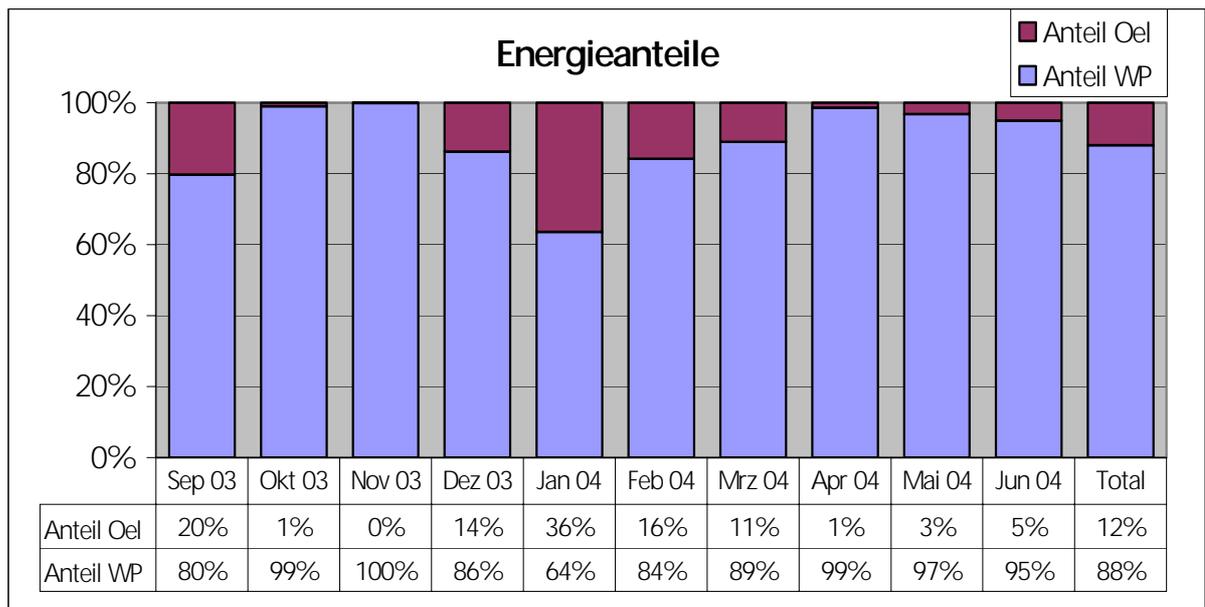
Abbildung/Tabelle 14 - Wärmeerzeugung Wärmepumpen-Ölkessel in MWh

<sup>2</sup> Summe der Nennleistungen bei Zwischenkreistemperatur 8 °C und Speicherladekreistemperatur 48 °C

<sup>3</sup> Anhand des gemessenen Heizölverbrauchs in l mit einem Kesselnutzungsgrad von 90 % gerechnet

<sup>4</sup> geschätzt

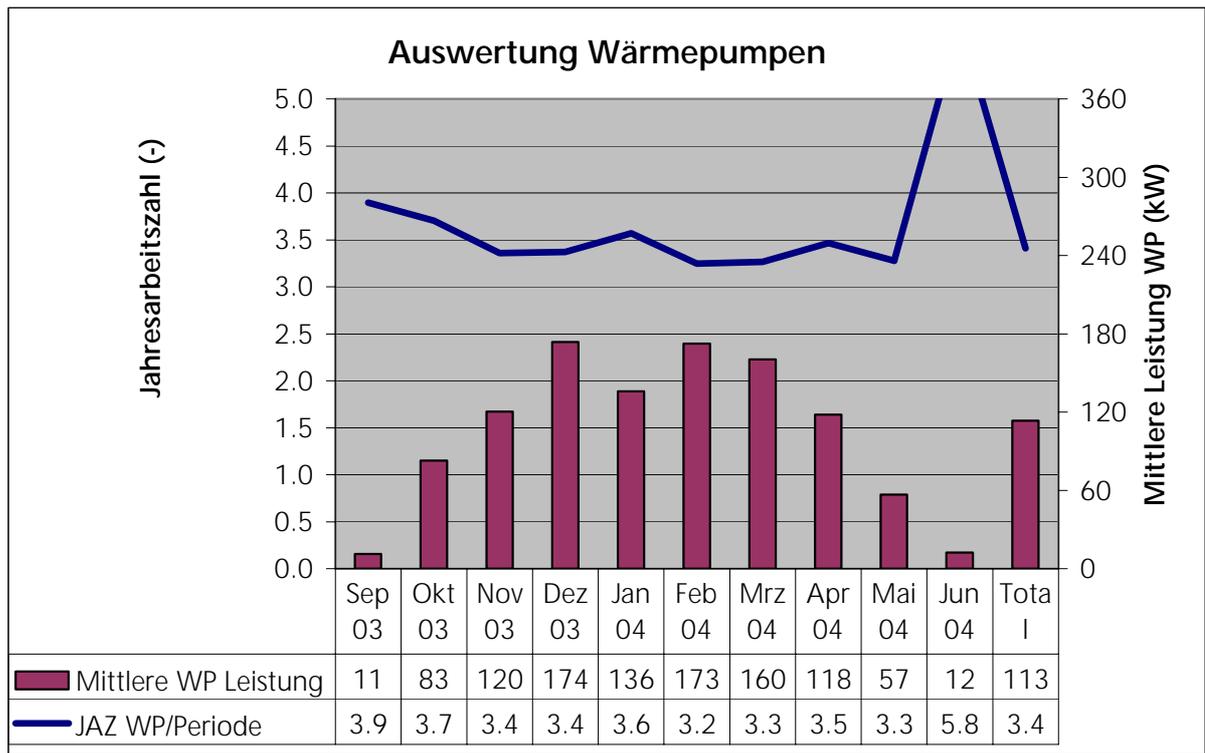
<sup>5</sup> COP gemäss Herstellerangaben 3.78 bei einer Zwischenkreistemperatur von 8 °C und einer Speicherladekreistemperatur von 48 °C



Abbildung/Tabelle 15 - Anteil an Wärmeerzeugung Wärmepumpen-Ölkessel in %

Bemerkungen:

- Die Gesamtenergiemengen zeigen, wie zu erwarten war, einen deutlich aussentemperatur-abhängigen Verlauf.
- Im September 2003 fand die Inbetriebsetzung des neu installierten Reserve- und Notkessels statt (Heizölanteil 20 %).
- Vom September bis November 2003 erfolgte die Wärmeerzeugung fast ausschliesslich durch die Wärmepumpen (noch keine Wärmebedarfsspitzen und Ausfälle im Abwasser- und Wärmepumpenbereich).
- Im Dezember 2003 fing die Grädigkeit des Abwasserwärmetauschers an sich zu verschlechtern, so dass er schliesslich im Januar 2004 geöffnet und manuell gereinigt werden musste.
- Im Februar und März war der Kessel nur zur Deckung der Wärmebedarfsspitzen erforderlich.
- Bedingt durch die Probleme mit der Abwasserseite, ist der Heizölanteil etwa doppelt so hoch, wie er bei der aktuellen Wärmebedarfsspitze theoretisch sein sollte (siehe Jahresdauerlinie in Anhang 6.5). Der Heizölanteil liesse sich durch Vergrösserung des Wärmespeichervolumens noch etwas reduzieren.

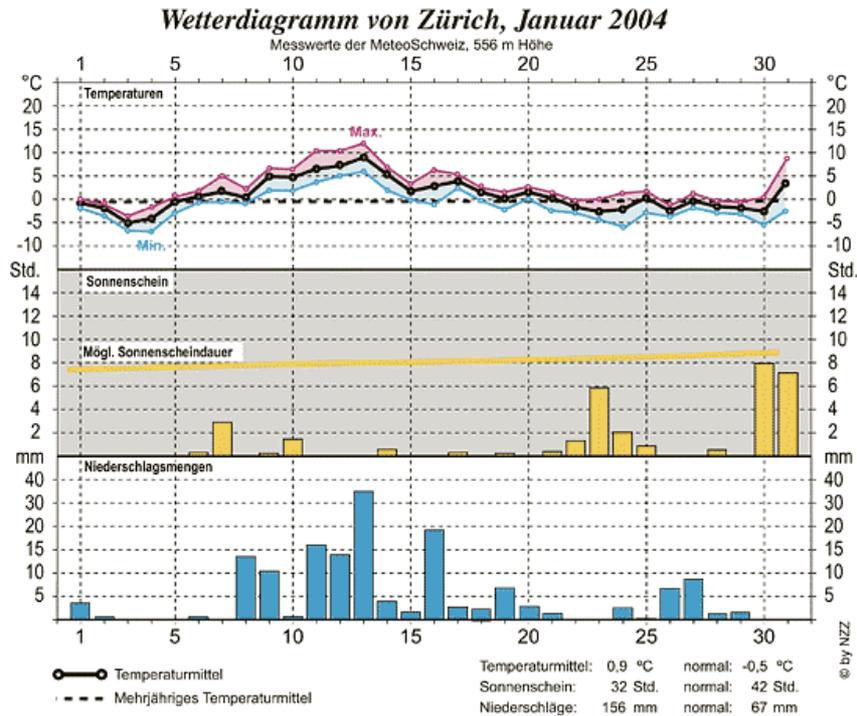


Abbildung/Tabelle 16 - Mittlere Wärmeleistung und Jahresarbeitszahl auf Monatsbasis

Die Auswertung zeigt Folgendes:

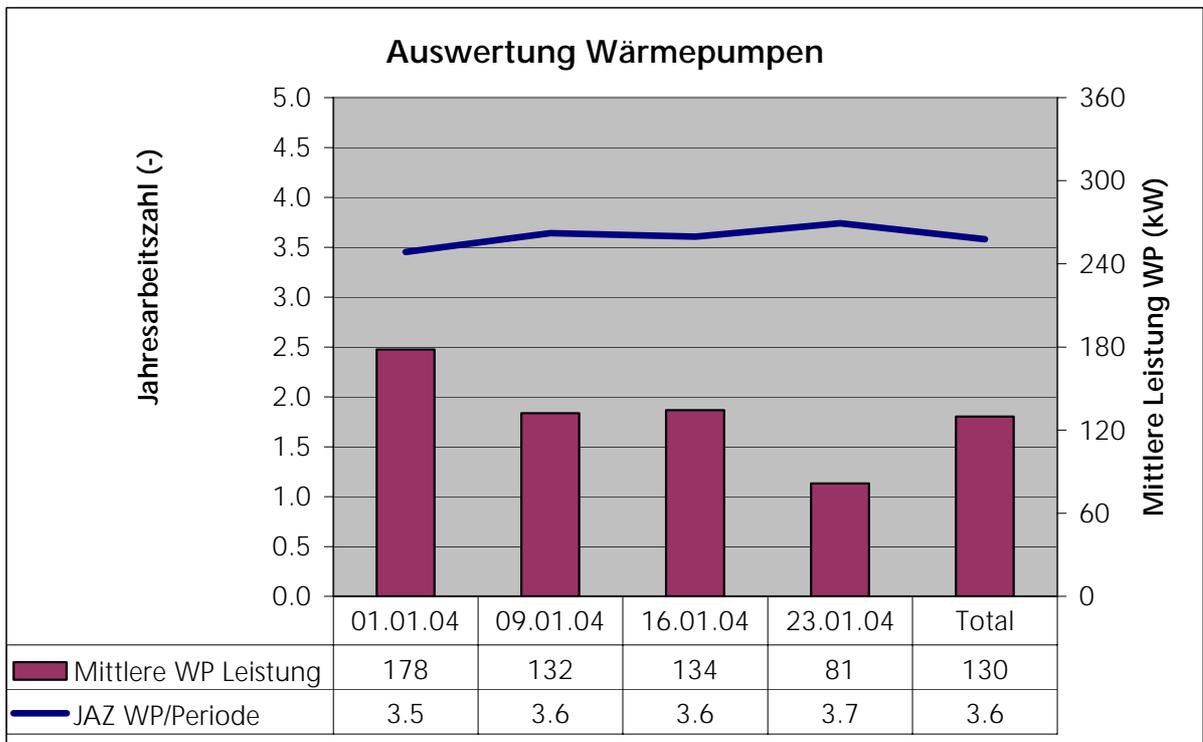
- Die Jahresarbeitszahl ist, wie zu erwarten war, von der Wärmequellentemperatur und damit indirekt von der Aussentemperatur und Witterung abhängig. Die Überlagerung von verschmutzungsbedingten Störungen verhindert eine Aussage zur direkten Abhängigkeit zwischen Jahresarbeitszahl (JAZ) und Aussentemperatur.
- Steigen in der Übergangszeit die Aussentemperaturen und damit auch die Abwassertemperaturen an und sinken die Heizungsvorlauftemperaturen gleichzeitig ab, steigt die JAZ auf Monatsbasis über 5.
- Eine JAZ von 3.4 entspricht den auf Herstellerangaben basierenden Erwartungen (COP=3.78).

### 5.4.3 Auswertung Januar 2004



Abbildung/Tabelle 17 - Meteodaten von Zürich, Januar 2004

Der Januar 2004 war im Vergleich zum langjährigen Mittel etwas zu warm. Die Heizgradtagzahlabweichung für Zürich betrug ein knappes Prozent.



Abbildung/Tabelle 18 - Mittlere Wärmeleistung und Jahresarbeitszahl auf Wochenbasis

Bei wenig oder keinem Niederschlag zeigt sich eine Abhängigkeit der JAZ von der Aussentemperatur. Bei tiefen Aussentemperaturen lag erwartungsgemäss die mittlere Leistung höher und die JAZ etwas tiefer.

Ein Einfluss der Niederschlagsmenge auf die JAZ und Wärmeleistung der Wärmepumpen konnte anhand der erhobenen Daten nicht nachgewiesen werden.

## 5.5 Folgerungen und Optimierungsmassnahmen

Grundsätzlich ist eine Interpretation der Messwerte schwierig, da die Anlage aufgrund von Verschmutzung des Abwasserwärmetauschers und anschliessenden Reinigungen mit unterschiedlichen Verfahren keinen vergleichbaren Betrieb aufwies.

Die festgestellten Abhängigkeiten von der Aussentemperatur und Witterung entsprachen qualitativ den Erwartungen.

Die basierend auf den Messungen errechneten Jahresarbeitszahlen entsprechen mit guter Genauigkeit den Angaben des Herstellers.

Als Lösung für die Verschmutzungsproblematik des Abwasserwärmetauschers sehen wir folgende Ansätze:

- Vermehrte chemische Reinigung (ca. alle ein bis zwei Monate, Kosten ca. Fr. 2'000.- pro Reinigung) und gelegentliches Öffnen und manuelle Reinigung des Tauschers (ca. alle 1 bis 2 Jahre, Kosten ca. Fr. 6'000.- pro Reinigung).

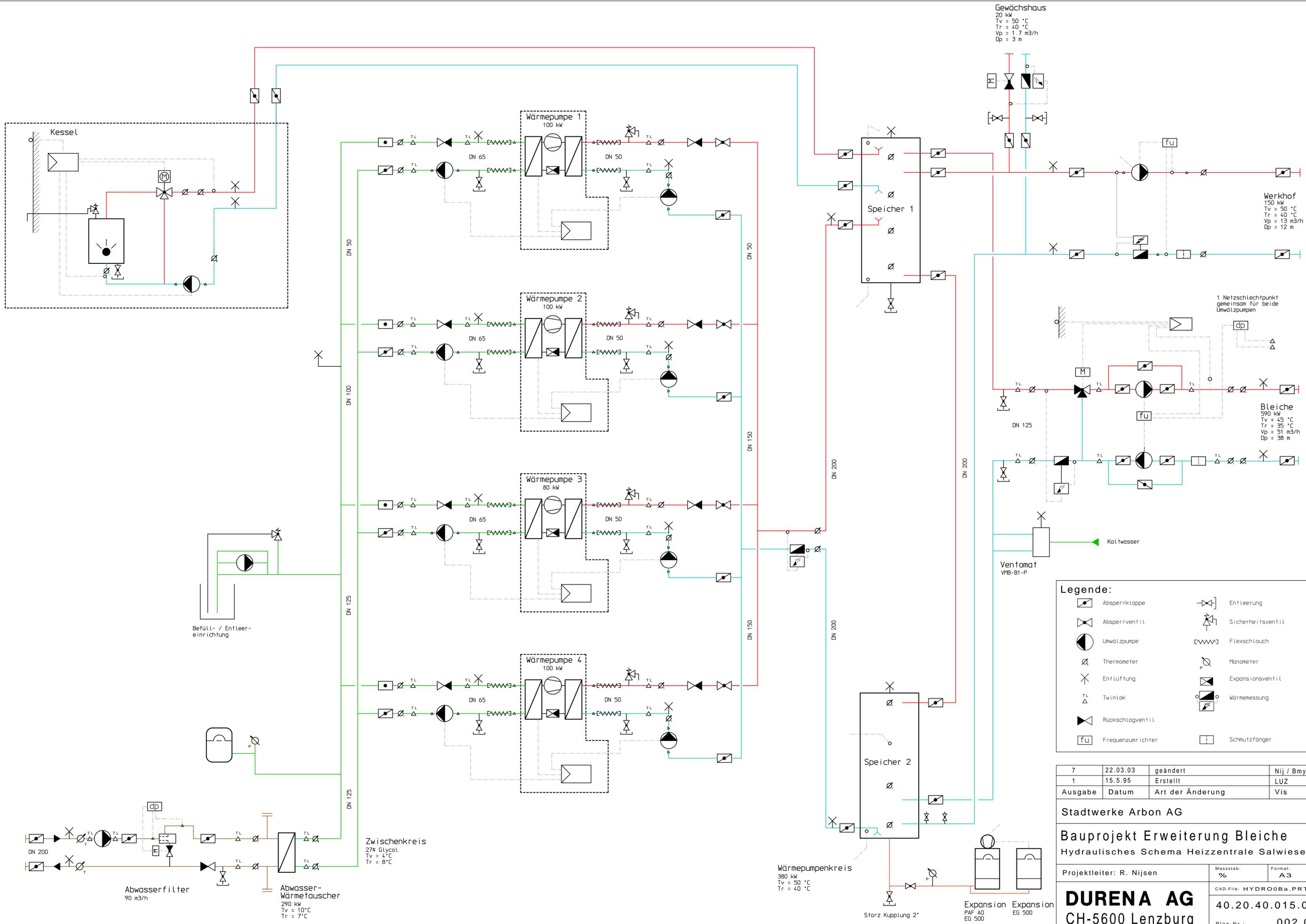
oder

- Installation einer Online-Reinigungsanlage, mit der der Wärmetauscher z.B. jeden Tag während der EW-Sperrzeit automatisch gereinigt wird (Investitionskosten ca. Fr. 30'000.-, Gesamtjahreskosten Fr. 3'000.-).

## 6. Anhang

### 6.1 Hydraulisches Schema

*Abbildung/Tabelle 19 - Hydraulisches Schema*



Gewächshaus  
 20 kW  
 Tv = 50 °C  
 Tr = 40 °C  
 Vp = 1.7 m³/h  
 Dp = 3 m

Werkhof  
 150 kW  
 Tv = 50 °C  
 Tr = 40 °C  
 Vp = 13 m³/h  
 Dp = 12 m

1 Netzschleifpunkt  
 gemeinsam für beide  
 Umwälzpumpen

Bleiche  
 590 kW  
 Tv = 45 °C  
 Tr = 35 °C  
 Vp = 51 m³/h  
 Dp = 38 m

Befüll- / Entleer-  
 einrichtung

**Legende:**

	Absperrklappe		Entleerung
	Absperrventil		Sicherheitsventil
	Umwälzpumpe		Flexschlauch
	Thermometer		Manometer
	Entlüftung		Expansionsventil
	Twinlok		Wärmemessung
	Rückschlagventil		Schmutzfänger
	Frequenzrichter		

7	22.03.03	geändert	Nij / Bmy
1	15.5.95	Erstellt	LUZ
Ausgabe	Datum	Art der Änderung	Vis

Stadtwerke Arbon AG  
 Bauprojekt Erweiterung Bleiche  
 Hydraulisches Schema Heizzentrale Salzwiese

Projektleiter: R. Nijssen	Maßstab: %	Format: A3
<b>DURENA AG</b>		
CH-5600 Lenzburg		
CAD-File: HYDRO0Ba.PRT	40.20.40.015.0	Plan-Nr.: 002.0

Abwasserfilter  
 90 m³/h

Abwasser-  
 Wärmetauscher  
 290 kW  
 Tv = 10 °C  
 Tr = 7 °C

Zwischenkreis  
 27% Glycol  
 Tv = 4 °C  
 Tr = 8 °C

Wärmepumpenkreis  
 380 kW  
 Tv = 50 °C  
 Tr = 40 °C

Expansion  
 EG 500

Expansion  
 EG 500

Storz Kupplung 2"

## 6.2 Fotos der Heizzentrale



*Abbildung/Tabelle 20 - Ansicht Wärmepumpen*

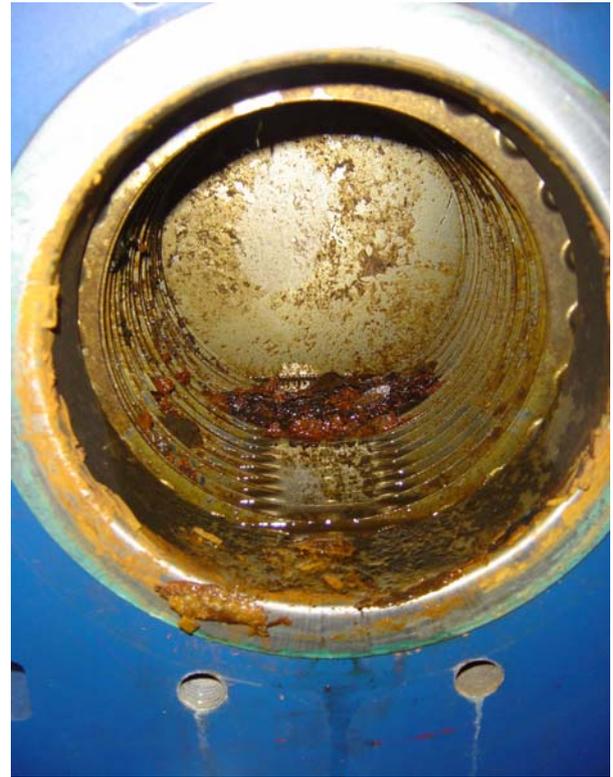


*Abbildung/Tabelle 22 - Fernwärmepumpengruppe und -regulierung*

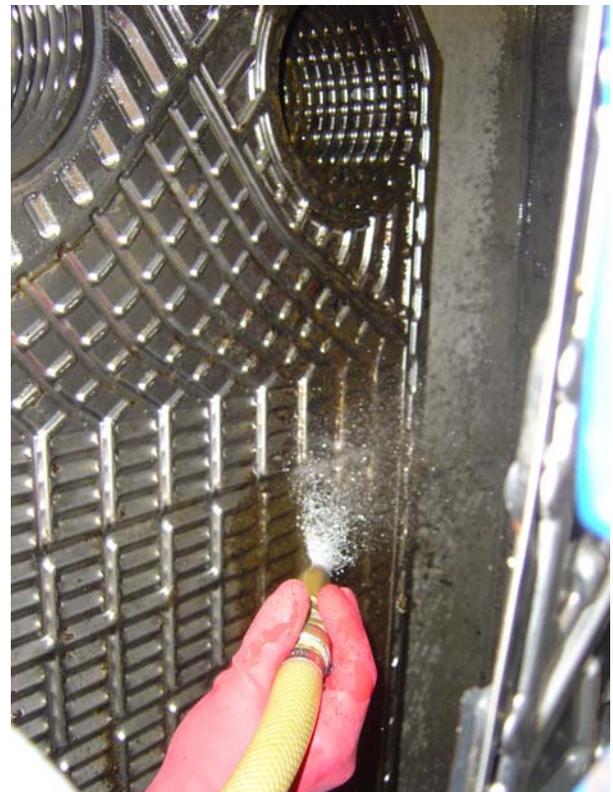


*Abbildung/Tabelle 21 - technische Wärmespeicher*

### 6.3 Fotos des geöffneten Abwasserwärmetauschers



Abbildung/Tabelle 23 - Öffnen des Abwasserwärmetauschers und Anschlussstutzen Abwasserzuleitung



Abbildung/Tabelle 24 - Biofilm und Reinigung des Abwasserwärmetauschers mit Schlauch und Schwamm

## 6.4 Betriebsprotokoll

*Abbildung/Tabelle 25 - Betriebsprotokoll*

Datum	Wer	Wärmepumpe 1				Wärmepumpe 2				Wärmepumpe 3				Wärmepumpe 4				Kessel		Filter	Elektrozähler	
		Kompressor 1		Kompressor 2		Kompressor 1		Kompressor 2		Kompressor 1		Kompressor 2		Kompressor 1		Kompressor 2		Stufe 1	Stufe 2	Spülungen		
Ortlichkeit	Ablesung	Anzeige Wärmepumpen-SPS				Zähler im Schaltschrank		im Filter-Schalt-schrank	Elektro-zähler im Schalt-schrank													
		[h]	[Starts]	[h]	[Starts]	[h]	[h]	[Anzahl]		[kWh]												
05.09.03	Naf	567.2	2362	569.1	2281	764.6	2509	764.6	2448	5257.1	7329			346.0	2181	347.0	2131			2188	207432	
12.09.03	Juchli/Schmid									5263.0	7334			347.0	2183	348.0	2132			2338	207758	
22.03.03	Schmid																				2532	207861
26.09.03	Schmid																				2608	208166
13.10.03	Soller	654.5	2633	656.4	2545	862.5	2790	863.1	2730	5271.4	7562			354.3	2278	354.0	2234			3293	212802	
24.10.03	Lengg	746.3	2669	749.5	2577	964.2	2837	964.5	2773	5316.2	7580			355.1	2279	355.2	2235			3711	218679	
31.10.03	Bürgi	805.3	2785	801.5	2682	1033.6	2986	1034.2	2920	5415.1	7600			374.4	2319	376.2	2278			4036	225386	
07.11.03	Soller	827.3	2798	826.2	2694	1140.4	3049	1140.3	2983	5484.4	7623			383.1	2327	383.3	2285			4365	230836	
14.11.03	Ranzoni																					237145
21.11.03	Naf	868.3	2828	865.2	2740	1287.0	3175	1286.0	3136	5704.0	7660			439.0	2362	440.0	2317			5026	243187	
28.11.03	Lengg	881.3	2853	888.3	2778	1375.1	3279	1375.3	3241	5810.4	7678			456.3	2383	456.6	2330			5325	249174	
05.12.03	Bürgi	890.2	2885	890.1	2816	1429.5	3380	1432.5	3342	5936.3	7686			514.1	2433	514.3	2377			5636	255725	
18.12.03	Lengg	1012.0	3072	1026.5	2965	1556.9	3654	1559.8	3585	5188.6	7719			621.3	2651	656.9	2500			6263	272912	
23.12.03	Naf	1111.0	3084	1120.0	2979	1667.0	3664	1669.0	3596	6207.0	7737			621.0	2673	657.0	2505			6515	277520	
30.12.03	Soller	1248.3	3135	1262.2	3010	1801.5	3706	1802.4	3638	6353.2	7765			621.0	2673	657.0	2505			6871	287835	
09.01.04	Ranzoni	1430.0	3239	1451.1	3047					6518.3	7828										7350	300220
16.01.04	Juchli	1545.1	3301	1570.0	3086	2029.3	3789	2035.1	3722	6603.0	7837			622.1	2683	661.4	2508			7676	306314	
23.01.04	Juchli	1678.1	3318	1702.6	3094	2029.3	3791	2035.1	3724	6749.2	7859			622.1	2684	661.5	2509			7994	312578	
29.01.04	Bürgi																				8223	317280
06.02.04	Naf	1829.2	3367	1849.4	3150	2060.5	3844	2064.3	3774	6898.1	7875			647.1	2706	681.4	2529			8360	320870	
13.02.04	Naf	1925.0	3485	1925.0	3260	2121.0	3935	2144.0	3907	7028.0	7898			737.0	2773	760.0	2591			8932	330771	
20.02.04	Bürgi	1985.0	3549	1984.0	3343	2203.0	4008	2242.0	4009	7164.0	7922			838.0	2828	840.0	2654			9282	340722	
27.02.04	Bürgi	2073.0	3624	2073.0	3418	2257.0	4152	2324.0	4094	7318.0	7933			957.0	2889	957.0	2717			9855	351981	
05.03.04	Lengg	2153.0	3691	2153.0	3483	2340.0	4225	2394.0	4158	7428.0	7940			1013.0	2941	1018.0	2751				360427	
12.03.04	Naf	2252.0	3777	2252.0	3559	2453.0	4306	2506.0	4236	7565.0	7960			1060.0	2981	1063.0	2789			10669	370729	
19.03.04	Bürgi	2297.0	3829	2297.0	3624	2552.0	4405	2594.0	4339	7663.0	8006			1117.0	3047	1117.0	2849			10974	378310	
26.03.04	Ranzoni	2346.0	3881	2348.0	3672	2651.0	4477	2651.0	4409	7761.0	8050									11299	385562	
02.04.04	Lengg	2449.0	3946	2449.0	3742	2739.0	4546	2739.0	4481	7854.0	8081			1188.0	3123	1188.0	2915			11612	393260	
16.04.04	Bürgi	2517.0	4129	2587.0	3853	2931.0	4695	2931.0	4635	8016.0	8181			1284.0	3227	1284.0	3016			12230	407633	
23.04.04	Naf	2545.0	4180	2608.0	3896	2991.0	4762	2992.0	4699	8089.0	8237			1328.0	3289	1328.0	3077			12546	412854	
03.05.04	Soller	2618.0	4263	2668.0	3975	3046.0	4840	3046.0	4772	8130.0	8300			1352.0	3334	1352.0	3119			12879	417644	
07.05.04	Bürgi	2660.0	4299	2673.0	3986	3080.0	4879	3080.0	4809	8154.0	8325			1361.0	3350	1361.0	3135			13025	419993	
14.05.04	M.G.	2709.3	4369	2709.1	4055	3197.1	4976	3137.0	4904	8194.1	8371			1379.4	3409	1379.3	3194			13319	424127	
21.05.04	Ranzoni	2730.4	4518	2730.1	4207	3154.3	5127	3153.5	5047	8206.1	8427			1394.6	3566	1394.4	3349			13605	425888	
28.05.04	Brand																					428306
05.06.04	Lengg	2759.2	4932	2759.2	4612	3208.0	5600	3209.0	5503	8255.0	8606			1450.1	4010	1450.1	3793			14890	430850	
11.06.04	Brand	2763.2	4954	3534.5	4633	3208.0	5604	3209.0	5506	8256.0	8614			1453.5	4050	1453.5	3832			14517	431110	
Juni 03 - Juni 04		2196.0	2592.0	2965.4	2352.0	2443.5	3095.0	2444.5	3058.0	2999.0	1285.0			1107.5	1869.0	1106.5	1701.0			12329.0	223678.0	

P:\Arbon Erfolgskontrolle Salwiese-Bleiche\Unterlagen&Berechnungen\Arbon\_031205\_Protokoll Betriebsrundgang\_TB\_A.xls\Protokoll

\*Temperaturen nur ablesen, wenn WP in Betrieb

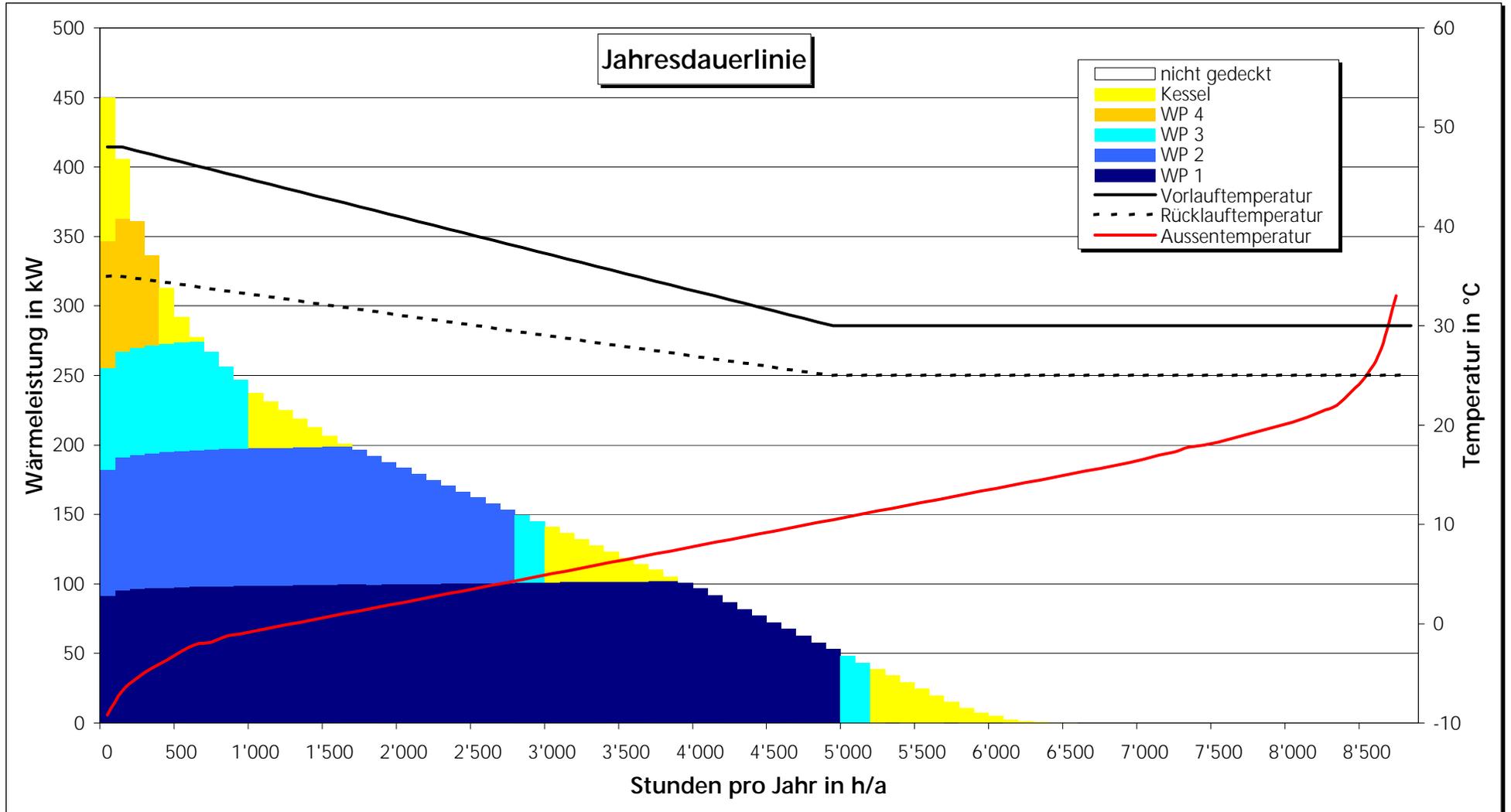
Datum	Wer	Olzähler	Zählerstände				Nahwärmenetzpumpe		Temperaturen								Regler		Bemerkungen		
			Wärmepumpen	Bleiche	Werkhof	Gewächshaus	Wärmezähler	Abwasser* Eintritt	Austritt	Zwischenkreis* Eintritt	Austritt	Speicher 1 oben	unten	Speicher 2 oben	unten	Fw-Vorlauf Ist-Wert	Temperaturen VL-Soll	Aussen			
Ortlichkeit	Ablesung	neben Kessel	Wärmezähler im Schaltschrank				Anzeige Frequenzumrichter	Thermometer bei Wärmetauscher	Thermometer bei Wärmetauscher	Thermometer am Speicher				Thermometer im Vorlauf Bleiche	Regler im Schaltschrank						
		[l]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[kWh]	[h]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]			
05.09.03	Näf	74898	75.643	52.082	1006.079	44.489			19.5	19.5	7.5	7.5	32.5	31.0	30.0	27.5	30.0	30.0	14.5	Abwasser nicht i.O.	
12.09.03	Juchli/Schmid	74910	77.038	52.496	1006.391	44.489	3129	2838.9	20.0	20.0	0.5	1.0	30.0	30.0	25.0	23.5	29.0	29.0	18.0		
22.03.03	Schmid	75131	77.279	52.841	1007.333	44.489	3328	3041.5	21.5	20.5	21.0	20.5	43.0	32.0	29.0	27.0	33.0	34.0	16.0		
26.09.03	Schmid	0	78.522	53.202	1007.845	44.489	3404	3119	17.5	16.0	15.5	17.0	29.0	27.0	26.0	24.0	28.0	28.0	12.5	Ersatz des Reservekessels	
13.10.03	Soller	83.55	96.517	64.829	1011.899	44.697	3821	3508.9	17.0	17.0	14.0	15.5	50.0	46.5	30.0	30.0	36.0	35.2	10.5		
24.10.03	Lengg	98.45	119.920	80.840	1017.380	45.800	4129	3774.4	13.0	11.0	5.0	9.0	50.0	50.0	41.0	46.0	40.0	44.4	4.3		
31.10.03	Bürgi	101.17	142.660	95.640	1023.312	46.910	4326	3935.6	14.5	12.5	7.0	10.0	48.5	47.5	39.0	45.0	39.0	38.5	5.4		
07.11.03	Soller	101.17	162.050	109.480	1027.060	47.600	4538	4109.2	14.5	13.0	7.5	11.5	52.0	51.0	41.0	47.0	38.0	37.5	7.4		
14.11.03	Ranzoni	101.17	182.743	123.563	1031.896	48.569	4735	4270.5	12.5	10.5	5.5	8.5	51.0	50.0	40.5	47.0	38.5	38.2	6.0		
21.11.03	Näf	101.25	203.461	137.816	1036.485	49.654	4939	4448	14.0	12.0	6.0	9.0	50.0	48.0	40.0	45.0	40.0	39.3	4.0	Abwasserfilter gereinigt 18.11.03	
28.11.03	Lengg	101.25	223.695	151.628	1041.007	50.696	5137	4605.3	14.0	11.5	6.0	9.0	48.0	47.0	39.0	38.0	39.0	39.1	4.3		
05.12.03	Bürgi	116.03	243.510	165.845	1045.910	51.820	5343	4772.7	13.5	11.2	5.2	7.9	51.2	50.5	40.5	47.1	39.2	38.9	4.6		
18.12.03	Lengg	716	298.180	206.650	1059.800	54.500	5802	5096.4	12.0	9.0	3.0	5.0	46.0	45.0	40.0	35.0	41.0	40.9	1.0	Rückschlagventil und Filter gereinigt	
23.12.03	Näf	1483	318.880	226.270	1066.750	55.580	6037	5206.7	10.0	8.0	3.0	5.5	58.0	38.0	39.0	38.0	42.0	50.7	1.6		
30.12.03	Soller	2338	352.870	255.086	1077.562	57.164	6376	5374.6	10.5	8.0	1.0	4.5	48.0	45.0	37.0	41.5	40.0	39.6	3.5		
09.01.04	Ranzoni	3898	395.640	295.240	1091.810	59.360	6852	5608.2	9.5	8.0	1.5	5.0	42.0	39.0	35.0	29.5	39.0	38.4	3.5		
16.01.04	Juchli	4947	417.830	319.500	1098.120	60.310	7195	5779.7	8.8	8.0	3.0	6.0	30.5	29.0	26.5	27.0	30.0	29.3	3.4	Plattentaucher chemisch gereinigt	
23.01.04	Juchli	6293	440.410	344.650	1106.990	61.200	7528	5944.4	9.5	8.0	2.0	5.5	36.0	30.0	28.0	27.0	35.0	34.2	1.3		
29.01.04	Bürgi	8960	457.990	373.610	1118.480	62.550	7881	6112.5	12.5	13.5	13.5	13.5	61.8	37.5	33.0	34.0	42.5	42.0	-0.8	WP ausser Betrieb, Reinigung Plattentaucher	
06.02.04	Näf	11241	470.010	396.410	1126.950	63.330	8200	6279.9	10.5	7.5	4.5	8.0	52.0	50.0	41.0	48.0	41.0	48.0	2.6		
13.02.04	Näf	11416	501.910	420.140	1134.900	63.980	8530	6447.7	9.5	6.5	2.5	6.5	48.0	46.0	41.0	41.0	40.0	43.0	2.4		
20.02.04	Bürgi	11476	534.290	443.620	1142.500	64.540	8863	6614.3	10.0	7.0	2.5	6.5	48.0	45.5	40.0	38.0	41.0	40.5	2.1		
27.02.04	Bürgi	11891	570.980	472.270	1151.860	65.680	9213	6781.4	10.0	7.0	2.0	5.5	47.5	45.5	40.5	37.0	41.5	41.3	0.5		
05.03.04	Lengg	13535	598.060	501.980	1162.200	67.030	9571	6949.4	15.0	15.0	15.0	15.0	52.0	35.0	32.0	32.0	41.0	40.8	1.4		
12.03.04	Näf	13993	631.500	529.530	1170.290	68.000	9955	7117.3	10.0	7.0	4.0	8.0	45.0	44.0	33.0	32.0	41.0	44.0	1.2		
19.03.04	Bürgi	14052	656.640	549.410	1174.400	68.510	10320	7284	12.0	11.0	7.0	10.0	50.0	49.0	40.0	46.0	37.0	37.0	7.9		
26.03.04	Ranzoni	14201	680.370	568.250	1178.970	69.230	10681	7451	9.0	7.0	1.5	4.5	55.0	46.0	36.0	34.0	40.0	39.1	4.0		
02.04.04	Lengg	14461	705.550	588.760	1184.260	70.280	11025	7618.1	11.5	11.0	6.5	10.0	50.0	50.0	32.0	31.0	39.0	37.9	6.4		
16.04.04	Bürgi	14542	754.220	627.750	1190.810	71.960	11687	7947.1	12.0	9.5	4.0	8.0	49.0	48.0	41.0	45.0	39.0	38.2	6.0		
23.04.04	Näf	14559	772.730	642.610	1193.080	72.520	11978	8116.7	14.0	13.5	9.5	13.0	49.0	49.0	40.0	46.0	35.0	49.4	12.0		
03.05.04	Soller	14576	790.500	657.100	1195.200	72.850	12307	8322.3	14.0	14.0	12.0	13.5	48.0	46.0	32.0	27.0	36.0	35.3	10.9		
07.05.04	Bürgi	14591	798.870	663.410	1146.480	73.150	12439	8402.4	12.0	10.5	6.5	9.0	52.0	51.0	41.0	48.0	38.0	37.7	6.8		
14.05.04	M.G.	14744	813.000	675.000	1199.000		12720	8573.6	15.0	14.0	10.0	13.0	45.0	47.0	37.5	39.5	34.0	34.1	12.9		
21.05.04	Ranzoni	14744	819.600	679.700	1199.700	73.600	12909	8701.1	16.5	16.5	10.5	15.0	50.0	48.0	40.5	44.0	33.0	44.6	13.5		
28.05.04	Brand	14744	828.200	685.400	1201.000	74.040	13129	8855.3	16.5	16.0	11.0	15.0	40.0	40.0	33.0	33.5	33.0	33.7	13.6		
05.06.04	Lengg	14744	830.200	690.500	1202.100	74.150	13305	9002.4	15.0	13.5	7.5	11.5	49.5	54.0	41.0	45.5	35.5	36.2	12.2		
11.06.04	Brand	14802	838.090	691.790	1202.700	74.150	13492	9114.6	17.5	17.0	12.0	16.0	52.0	50.0	40.0	45.0	30.0	31.5	17.4		
Juni 03 - Juni 04		15035.0	762.4	639.7	196.6	29.7	10363.0	6275.7													

P:Arbon Erfolgskontrolle Salwies

## 6.5 Jahresdauerlinie (theoretisch)

*Abbildung/Tabelle 26 - Jahresdauerlinie (theoretisch)*

Bedarf / Nutzung					Erzeugung							
Nennwärmebedarf	Raumheizg	450 kW	Faktor Gleichzeitigkeit		1.00	Wärmebedarf	WP 1	WP 2	WP 3	WP 4	Kessel	nicht gedeckt
Zusammensetzung	Bürogebäude		Wohngebäude		Kontrollsumme	450 kW	100 kW	100 kW	80 kW	100 kW	720 kW	- kW
Nutzung	gross	klein	gross	klein	100%	Faktor Aussentemperatur	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0	
Raumheizung	0%	0%	30%	70%		Einsatzgrenze	Ta < 35.0 ° C	Omin > 50 %	Omin > 0 %			
Brauchwarmwasser	nein		Bandlast: - kW		450 kW	Wärme	897 MWh/a	468 MWh/a	244 MWh/a	86 MWh/a	30 MWh/a	68 MWh/a
Vorlauftemperatur	TA=-8°C:	48 °C	TA=10°C:	30 °C		Volllaststunden	1'993 h/a	4'684 h/a	2'439 h/a	1'081 h/a	297 h/a	95 h/a
Rücklauftemperatur	TA=-8°C:	35 °C	TA=10°C:	25 °C		Betriebsstunden	6'600 h/a	5'000 h/a	2'800 h/a	1'400 h/a	400 h/a	3'500 h/a



## 6.6 Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abbildung/Tabelle 1 - Anschlussleistungen Ausbautappen	1
Abbildung/Tabelle 2 - Versorgungsgebiet	2
Abbildung/Tabelle 3 - Deckung Leistungs- und Wärmebedarf durch Wärmepumpen	2
Abbildung/Tabelle 4 - Energietechnische Eckwerte	3
Abbildung/Tabelle 5 - Technische Eckwerte Wärmepumpen	4
Abbildung/Tabelle 6 - Prinzipschema Abwassersystem	5
Abbildung/Tabelle 7 - Technische Eckwerte Abwassersystem	6
Abbildung/Tabelle 8 - Technische Eckwerte Reservekessel	7
Abbildung/Tabelle 9 - Heizkennlinien Nahwärmenetz und Wärmebezügler	8
Abbildung/Tabelle 10 - Erfasste Messwerte	14
Abbildung/Tabelle 11 - Elektrische Leistung Hilfsbetriebe	15
Abbildung/Tabelle 12 - Betriebsdaten Wärmepumpen	15
Abbildung/Tabelle 13 - Betriebsdaten Gesamtanlage	16
Abbildung/Tabelle 14 - Wärmeerzeugung Wärmepumpen-Ölkessel in MWh	16
Abbildung/Tabelle 15 - Anteil an Wärmeerzeugung Wärmepumpen-Ölkessel in %	17
Abbildung/Tabelle 16 - Mittlere Wärmeleistung und Jahresarbeitszahl auf Monatsbasis	18
Abbildung/Tabelle 17 - Meteodaten von Zürich, Januar 2004	19
Abbildung/Tabelle 18 - Mittlere Wärmeleistung und Jahresarbeitszahl auf Wochenbasis	19
Abbildung/Tabelle 19 - Hydraulisches Schema	21
Abbildung/Tabelle 20 - Ansicht Wärmepumpen	22
Abbildung/Tabelle 21 - technische Wärmespeicher	22
Abbildung/Tabelle 22 - Fernwärmepumpengruppe und -regulierung	22
Abbildung/Tabelle 23 - Öffnen des Abwasserwärmetauschers und Anschlussstutzen Abwasserzuleitung	23
Abbildung/Tabelle 24 - Biofilm und Reinigung des Abwasserwärmetauschers mit Schlauch und Schwamm	23
Abbildung/Tabelle 25 - Betriebsprotokoll	24
Abbildung/Tabelle 26 - Jahresdauerlinie (theoretisch)	25