

Schlussbericht für Baufelder 4.3 + 4.4 / Januar 2005

# Grundwasser-Wärmepumpenanlage „Walperswilmatte“ in Aarberg/BE

## Langfristige Erfolgskontrolle

ausgearbeitet durch  
Markus Kurz  
Ingenieurbüro Iten, Kaltenrieder und Partner AG  
Höheweg 2  
3053 Münchenbuchsee

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

## ZUSAMMENFASSUNG

### A. Vorgeschichte

Im Jahr 1997 wurde mit dem Bau der Siedlung „Walperswilmatte“ begonnen. Nach einer Studie des Ingenieurbüros IKP wurde das folgende Konzept für die Wärmeerzeugung gewählt:

Einzelne Wärmepumpen pro Baufeld für Heizung und Brauchwarmwasser  
 Zentrale Grundwasserversorgung aus dem bestehenden, aber stillgelegten Grundwasserbrunnen der Gemeinde Aarberg.  
 Gemeinsame Rückführung von Grundwasser und Regenwasser in den Vorfluter (alte Aare).

Die erste Bauserie wurde im Jahr 2000 beendet. Sie umfasste 6 Wärmepumpen. Die erwartete Jahresarbeitszahl (ohne Pumpenstrom) von 3.5 konnte nicht erreicht werden. Die Auswertung ergab nur eine JAZ von 3.15.

### B. Ziel der vorliegenden Arbeit

Für die 2. Bauserie (Baufelder 4.3 + 4.4) soll eine verbesserte Jahresarbeitszahl von mindestens 4.0 erreicht werden.

### C. Lösungsweg

Wahl eines Spiralverdichters mit den theoretischen Arbeitszahlen

von mind. 3.8 bei W10 / W50  
 und mind. 5.5 bei W10 / W35

Ausserdem vergrösserten wir die Plattentauscher für Verdampfer und Kondensator. Für die Auswertung erfolgte eine monatliche Ablesung von

Stromverbrauch der Wärmepumpe  
 Wärmeproduktion des Heizkreises  
 Wärmeproduktion des Brauchwarmwasser – Kreises

### D. Hauptergebnis

Die Arbeitszahl über ein ganzes Jahr gemessen, beträgt für das Baufeld 4.3 4.036 (ohne Pumpenstrom) und für das Baufeld 4.4, 4.16 (ohne Pumpenstrom). Der Pumpenstrom wurde absichtlich nicht berücksichtigt um exakte Messwerte für den reinen Betrieb der Wärmepumpe zu erhalten. Die Verbesserung gegenüber der 1. Bauserie ist aus dem Diagramm Seite 13 ersichtlich. Von Interesse ist ausserdem der Stromverbrauch der gemeinsamen Grundwasserversorgung gegenüber einzelnen Grundwasserpumpen. Die gemeinsame Versorgung ergibt heute rechnerisch eine Einsparung von 10%.

### E. Kommentar

Die Mehrkosten für die Optimierung der Wärmepumpe lohnen sich. Beim Baufeld 4.3 wurde bei Fr. 2'750.—Mehrinvestitionen eine Stromersparnis von ca. 4'000 kWh oder ca. Fr. 600.—pro Jahr erreicht.

Beim Baufeld 4.4 wurde bei Fr. 3'080.—Mehrinvestitionen eine Stromersparnis von ca. 9'860 kWh oder ca. Fr. 1'479.—pro Jahr erreicht.

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1. Grundlagen</b>	<b>S. 5</b>
<b>2. Vorgeschichte der 1. Bauserie</b>	<b>S. 5</b>
2.1 Ausgangslage aus der 1. Bauserie	
2.2 Anlagebeschrieb und Ausführungskonzept	
<b>3. Vorgaben und Auftrag für die 2. Bauserie</b>	<b>S. 9</b>
<b>4. Änderungen gegenüber der 1. Bauserie</b>	<b>S. 9</b>
<b>5. Probleme bei der Einregulierung</b>	<b>S. 9</b>
<b>6. Momentanmessungen</b>	<b>S. 10</b>
6.1 Baufeld 4.3	
6.2 Baufeld 4.4	
<b>7. Jahresarbeitszahl JAZ</b>	<b>S. 11</b>
Zusammenstellung der Messergebnisse für Baufeld 4.3	
Zusammenstellung der Messergebnisse für Baufeld 4.4	
<b>8. Diagramm: Verlauf der Arbeitszahl Wärmepumpe über 13 Monate</b>	<b>S. 13</b>
<b>9. Spezifische Daten und Anlagekosten</b>	<b>S. 14</b>
9.1 MFH Baufeld 4.3	
9.2 MFH Baufeld 4.4	
<b>10. Kommentar</b>	<b>S. 16</b>

## 1. Grundlagen

- Vertrag vom 06.09.2000 zwischen dem Bundesamt für Energie, 3003 Bern, und dem Ingenieurbüro IKP AG, 3053 Münchenbuchsee
- Schlussbericht über die erste Bauserie der bereits erstellten 6 Baukomplexe der Siedlung „Walperswilmatte“.

## 2. Vorgeschichte der 1. Bauserie

### 2.1 Ausgangslage aus der 1. Bauserie

Die Initianten dieser neuen Siedlung im Zentrum von Aarberg haben versucht, eine umweltfreundliche Wärmeerzeugung als Auflage für die Landkäufer festzulegen.

Da es sich um privaten Wohnungsbau handelte, stand von Anfang an neben der Ökologie auch die Wirtschaftlichkeit im Vordergrund.

Zwei Besonderheiten prägten das weitere Vorgehen:

- Am Rande des Baufeldes befand sich eine Trinkwasser-Pumpstation der Gemeinde, die ausser Betrieb gesetzt wurde.
- Das Regenwasser der Überbauung sollte in den Vorfluter („alte Aare“) geleitet werden. Das Gewässerschutzamt willigte ein, auch Grundwasser nach dem Wärmeentzug in der gleichen Leitung abzuführen.

Dank dieser günstigen Ausgangslage entfiel die Variante Ölfeuerung und es ging nur noch darum, das günstigste Wärmepumpenkonzept zu finden.

Eine Studie des Ingenieurbüros IKP führte aus wirtschaftlichen und betrieblichen Gründen zu einzelnen Wärmepumpen pro Baufeld (Total 14 Stück) mit zentraler Grundwasserversorgung und Rückführung.

### 2.2 Anlagebeschrieb und Ausführungskonzept

#### 2.2.1 Grundwasserversorgung

Der Grundwasserbrunnen und das Pumpenhaus standen zur Verfügung. Im Brunnen wurden 4 Grundwasserpumpen eingebaut, dimensioniert für die Gesamtüberbauung. Davon ist eine Pumpe drehzahlreguliert, um einen konstanten Druck bei unterschiedlichen Wassermengen halten zu können. Die andern schalten sich bei Bedarf hinzu. Um Druckschwankungen auszugleichen, wurde ein Druckexpansionsgefäss dazugebaut. Über ein erdverlegtes Rohrsystem werden sämtliche Häuser mit Grundwasser versorgt. Vor dem Anlauf der Maschinen öffnet das entsprechende Grundwasserventil und schliesst bei abgestellter Maschine verzögert. Alle Anschlüsse ans Grundwassernetz mussten mit Druckregulierventilen versehen werden, um die gegenseitige Beeinflussung zu verhindern. Aus dem gleichen Grund wurden die Rohre auch als Ringleitung verlegt.

#### 2.2.2 Grundwasserrückführung

Durch grösser dimensionieren der Regenwasserleitung konnte das Grundwasser über die gleiche Leitung in den Vorfluter geführt werden. Dies trug wesentlich zur Verbilligung der ganzen Installation bei.

### 2.2.3 Wärmepumpen

Sämtliche Wärmepumpen sind ausgerüstet mit separaten Kondensatoren für Heizung und Brauchwassererwärmung.

Technische Daten:

- Für Leistungen unter 30kW wurden vollhermetische Kompressoren eingebaut (für 1-stufigen Betrieb)
- Für Leistungen über 30kW wurden halbhermetische Kompressoren gewählt (mit 2-stufiger Leistungsregulierung)
- Als Kältemittel wurde das umweltschonende R134a eingesetzt.
- Maximale Heizwassertemperaturen 50°C.
- Maximale Brauchwassertemperaturen 57°C.

Die Wärmepumpen werden nur frei gegeben, wenn das Ventil der Gebäudeheizung ganz öffnet oder wenn der Boiler Wärme verlangt.

Im Endausbau werden 14 Wärmepumpen laufen. Die 1. Bauserie umfasste 6 Maschinen die zum Teil schon seit 6 Jahren in Betrieb sind.

### 2.2.4 Wärmeverteilung

Die Wärmepumpen arbeiten gleitend auf einen Heizungsspeicher, um lange Laufzeiten zu erreichen und um die Sperrzeiten zu überbrücken.

Die Bodenheizungen sind mit nach aussentemperaturgeführten Vorlaufregulierungen versehen. Die Vorlauftemperaturen schwanken bei den normalen Wintertemperaturen zwischen 25°C und 45°C. Bei -8°C Aussentemperatur können sie auf maximal 50°C ansteigen.

### 2.2.5 Brauchwassererwärmung

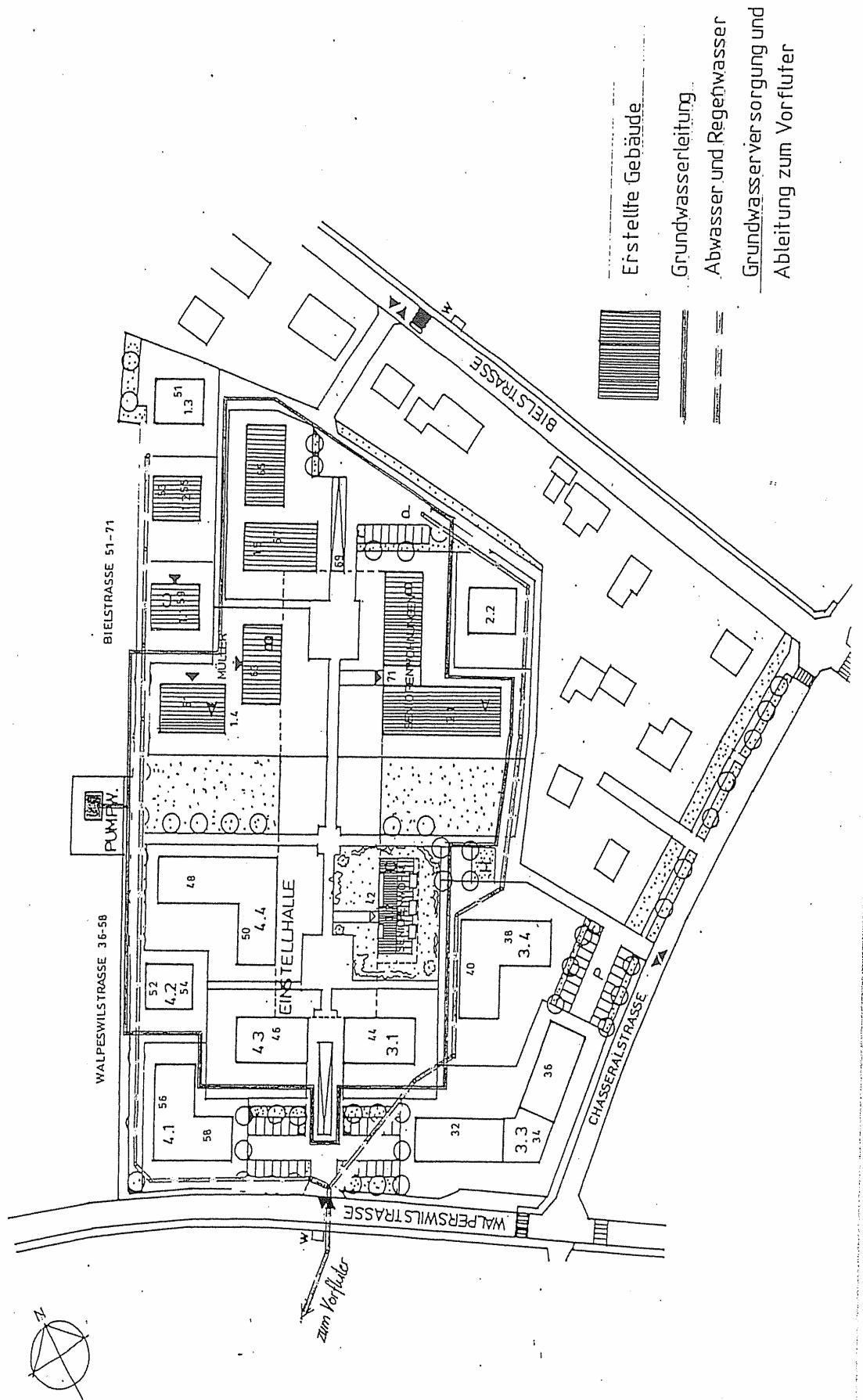
Die Speicher sind für einen halben Tagesbedarf ausgelegt. Mit der Zwangsladung in der Niedertarifzeit kann der günstigere Strompreis genutzt werden. Wie die Studie später zeigt, erreichen wir gesamthaft einen Niedertarifanteil von 33% für Heizung und Brauchwasser. Dieser Wert scheint verhältnismässig niedrig. Man muss berücksichtigen, dass die sehr gut isolierten Häuser in der Nacht keine Heizleistung benötigen. Die Aufheizung setzt um 05.00 Uhr ein. Zudem kann nicht verhindert werden, dass der Boiler im Laufe des Abends nachgeladen werden muss. Die Niedertarifzeit umfasst gegenwärtig die Spanne von 22.00 bis 06.00 Uhr.

Die für die Speicherschichtung notwendige Minimaltemperatur von 50°C wurde anfänglich mit Hochhalteventilen und später mit drehzahlregulierten Pumpen erreicht. Um die Verkalkung der Kondensatoren zu verhindern, sind physikalische Wasserenthärter eingesetzt worden.

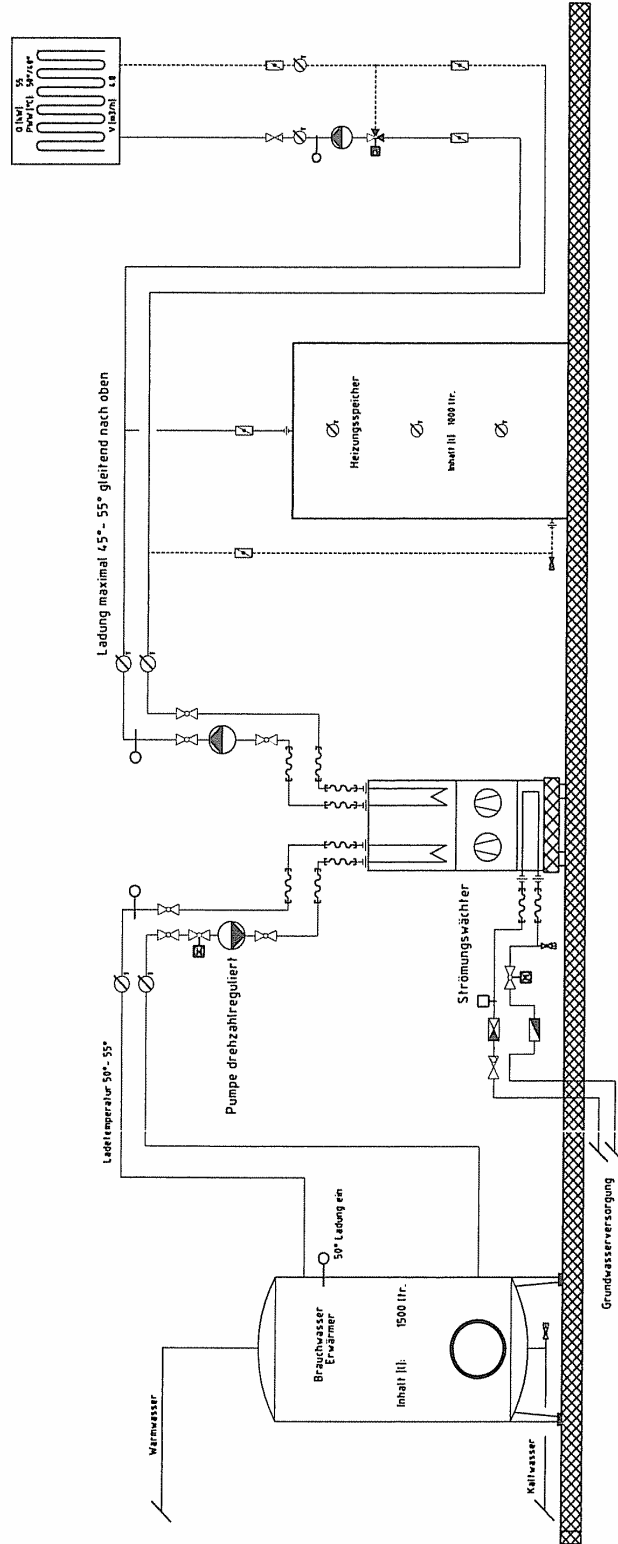
### **Beilagen**

Beilage 1: Situation der Grundwasserversorgung

Beilage 2: Funktionsschema der Wärmepumpen



Beilage 2



Funktionschema der Wärmepumpen

"Walperswilmatte" Aarberg

### **3 Vorgaben und Auftrag für die 2. Bauserie**

Diese umfasste die Baufelder 4.3 + 4.4.

Das vor 10 Jahren festgelegte Energiekonzept wird beibehalten. Es umfasst je eine Wärmepumpe pro Gebäude und eine zentrale Grundwasserversorgung und Rückführung in den Vorfluter.

Für die ersten fünf Gebäudekomplexe hatten wir vom Bundesamt für Energie einen Auftrag zur Erfolgskontrolle und Umsetzung.

Der dazugehörige Schlussbericht wurde im Februar 2000 abgeliefert. Er belegte die gute Funktion und die Vorteile des Systems. Die erwartete Jahresarbeitszahl von 3,5 konnte jedoch nicht erreicht werden.

Aus diesem Grund erhielten wir vom BFE einen Folgeauftrag für zwei weitere Bauten. Dazu gehörte auch die Kostenbeteiligung an die optimierten Wärmepumpen.

Das Ziel war eine Jahresarbeitszahl (ohne Pumpenstrom) von mind. 4.0 zu erreichen.

### **4 Änderungen gegenüber der 1. Bauserie**

4.1 Die zwei neuen Wärmepumpen wurden mit eigenem Stromzähler ausgerüstet.

4.2 Verdampfer und Kondensator wurden gegenüber handelsüblichen Maschinen um ca. 30 % vergrößert.

4.3 Bei der Regulierung achteten wir darauf, dass nicht höher als erforderlich kondensiert wird.

4.4 Für den Ladekreis der Brauchwassererwärmung wurde anstelle des Regelventils eine drehzahlregulierte Pumpe eingesetzt.

### **5 Probleme bei der Einregulierung**

- In beiden Ladekreisen musste nachträglich eine Rückschlagklappe eingebaut werden, um die Schwerkraftzirkulation bei ausgeschaltetem Betrieb zu vermeiden.
- Die Ausschalttemperatur für die Brauchwassererwärmung war anfänglich zu hoch auf 65 – 70°C eingestellt, was die Arbeitszahl verschlechterte. Sie wurde reduziert auf 60°C.
- Die Regulierung der BWW-Temperatur über die Umwälzpumpe bot Probleme. Diese konnten jedoch im Laufe des Sommers gelöst werden.

## 6 Momentanmessungen

### 6.1 Baufeld 4.3, Messung vom 18.10.2002

Heizkreis	ohne Strom für die Grundwasserversorgung	inkl. Strom für die Grundwasserversorgung
Ausstemperatur	+ 9°C	+ 9°C
Ladekreis 1'620 l/h	ca. 26/41°C	ca. 26/41°C
Bodenheizung	32/26°C	32/26°C
Stromaufnahme WP	6,7 kW	7,4 kW
Heizleistung nach Wärmezähler	28,5 kW	28,5 kW
Grundwasser	12/9°C	12/9°C
Arbeitszahl =	<u>4.25</u>	<u>3.85</u>

### 6.2 Baufeld 4.4, Messung vom 03.01.2005

Heizkreis	ohne Strom für die Grundwasserversorgung	inkl. Strom für die Grundwasserversorgung
Ausstemperatur	+ 9°C	+ 9°C
Ladekreis 3'117 l/h	ca. 29/39°C	ca. 29/39°C
Bodenheizung	32/29°C	32/29°C
Stromaufnahme WP 1. Stufe	6,24 kW	7,3 kW
Heizleistung nach Wärmezähler	34,3 kW	34,3 kW
Grundwasser	10/7°C	10/7°C
Arbeitszahl =	<u>5.5</u>	<u>4.7</u>

## 7 Jahresarbeitszahl JAZ

Die Jahresarbeitszahl über 12 Monate ohne Berücksichtigung des Pumpenstroms ergibt:  
für Baufeld 4.3. JAZ = 4.036

für Baufeld 4.4 JAZ = 4.16

Die Verbesserung gegenüber der 1. Bauserie ist aus dem Diagramm Seite 13 ersichtlich.

Das Bundesamt für Energie hat eine Jahresarbeitszahl von mind. 4.0 gefordert, rein auf die Wärmepumpe bezogen.

Dieses Ziel konnte damit erreicht werden.

Wie man aus dem Diagramm Seite 13 ersieht, wird die JAZ durch die schlechten Sommerwerte nach unten gedrückt. Nach Korrekturen der Regulierung haben wir heute beim Baufeld 4.3 einen Wert von 4.09 erreicht.

### Zusammenstellung der Messergebnisse für Baufeld 4.3

	Stromverbrauch	Wärmeabgabe	Arbeitszahl
02.05. – 03.06.2002	1'156,0 kWh	4'690 kWh	4,06
03.06. – 28.06.2002	313,0 kWh	1'050 kWh	3,35
28.06. – 07.08.2002 Regulierung korrigiert	404,2 kWh	1'330 kWh	3,29
07.08. – 30.08.2002	157,5 kWh	600 kWh	3,81
30.08. – 12.09.2002	94,1 kWh	370 kWh	3,93
12.09. – 18.10.2002	1'111,8 kWh	4'630 kWh	4,16
18.10. – 30.01.2003	6'650,2 kWh	27'350 kWh	4,11
30.01. – 01.04.2003	4'462,0 kWh	17'770 kWh	3,98
01.04. – 03.06.2003	1'902,0 kWh	7'820 kWh	4,11
<b>03.06.2002 – 03.06.2003 Mit Grundwasserpumpe</b>	<b>15'094,8 kWh 16'380 kWh</b>	<b>60'920 kWh</b>	<b>JAZ = 4,036 JAZ = 3,72</b>

Die Wärmeproduktion für die Messperiode teilt sich auf in:

- Heizung 46'970 kWh = 77,1 %
- Brauchwasser-Erwärmung 13'950 kWh = 22,9 %

## Zusammenstellung der Messergebnisse für Baufeld 4.4

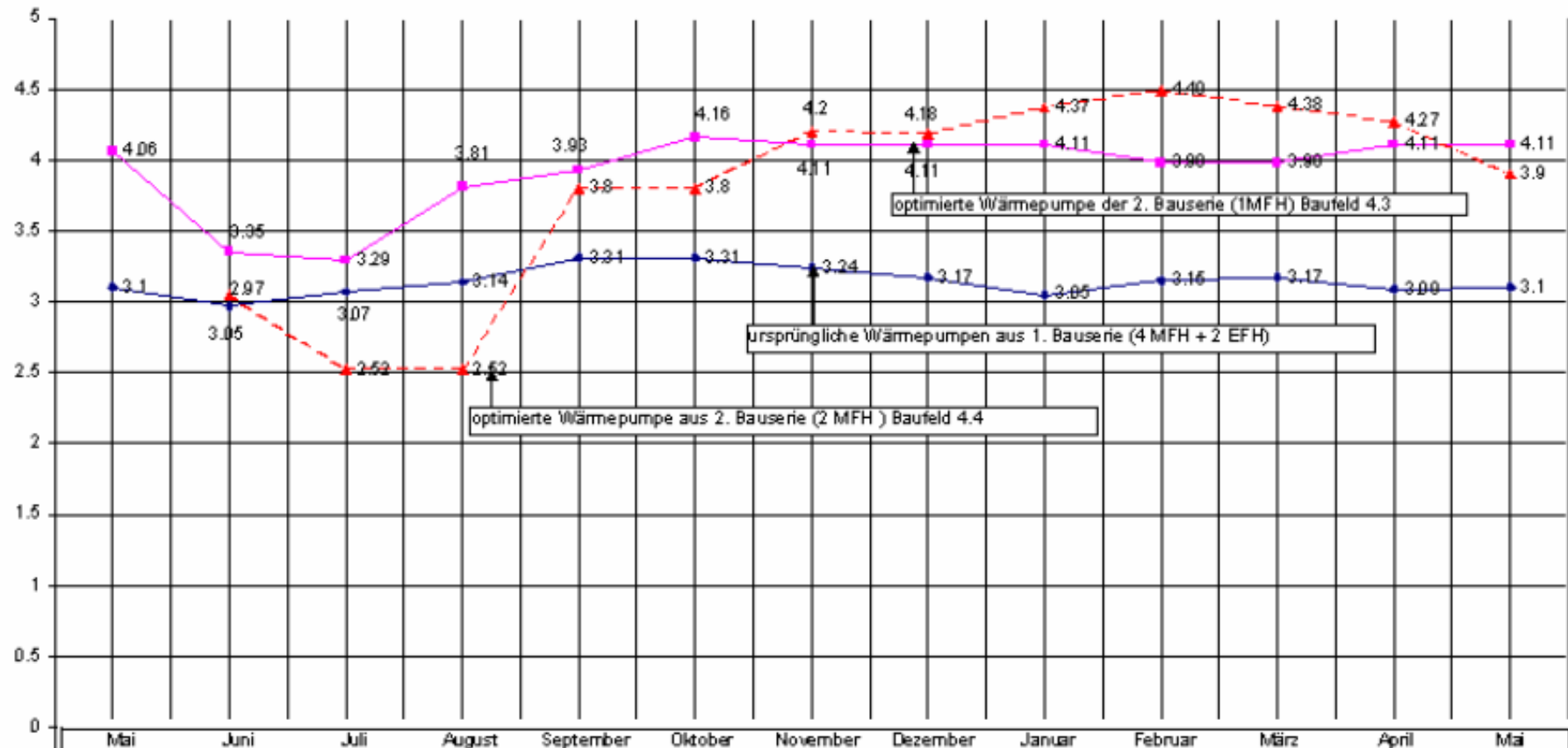
	<b>Stromverbrauch</b>	<b>Wärmeabgabe</b>	<b>Arbeitszahl</b>
03.01. – 05.02.2004 ab 05.02.2004 Gebäude voll beheizt	3'615,6 kWh	15'784,9 kWh	4,37
05.02. – 01.03.2004	5'274,0 kWh	23'701,8 kWh	4,49
01.03. – 05.04.2004	5'548,1 kWh	24'310,8 kWh	4,38
05.04. – 30.04.2004	2'044,9 kWh	8'727,6 kWh	4,27
30.04. – 04.06.2004	1'649,9 kWh	6'445,5 kWh	3,90
04.06. – 02.07.2004	624,0 kWh	1'903,0 kWh	3,05
02.07. – 31.08.2004	1'254,9 kWh	3'168,3 kWh	2,52
31.08. – 01.11.2004	2'768,4 kWh	10'516,1 kWh	3,80
01.11. – 07.12.2004	3'941,2 kWh	16'565,6 kWh	4,20
07.12. – 03.01.2005	3'979,0 kWh	16'641,9 kWh	4,18
<b>03.01.2004 – 03.01.2005</b>	<b>30'691,0 kWh</b>	<b>127'734,9 kWh</b>	<b>JAZ = 4,16</b>
<b>Mit Grundwasserpumpe</b>	<b>33'186 kWh</b>		<b>JAZ = 3,85</b>

Die Wärmeproduktion für die Messperiode teilt sich auf in:

- Heizung 112'294,9 kWh = 87,9 %
- Brauchwasser-Erwärmung 15'440,0 kWh = 12,1 %

Die höchste Arbeitszahl wurde im Monat Februar erreicht, da ab diesem Zeitpunkt alle Wohnungen voll beheizt und damit die Maschine besser ausgelastet wurde. Das Gegenteil zeigt sich im Sommer. Bei kleinstem Warmwasserbedarf ergibt sich die schlechteste Arbeitszahl.

## 8. Verlauf der Arbeitszahl Wärmepumpe über 13 Monate



—●— 1999	3.1	2.97	3.07	3.14	3.31	3.31	3.24	3.17	3.05	3.15	3.17	3.09	3.1
—●— 2002/03	4.06	3.35	3.29	3.81	3.93	4.16	4.11	4.11	4.11	3.98	3.98	4.11	4.11
-▲- 2004		3.05	2.52	2.52	3.8	3.8	4.2	4.18	4.37	4.49	4.38	4.27	3.9

## 9. Spezifische Daten und Anlagekosten

### 9.1 MFH Baufeld 4.3

- 6 Wohnungen, 4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> Zimmer	
- Heizleistungsbedarf	24 kW
- Energiebezugsfläche	730 m <sup>2</sup>
- Jahresenergieverbrauch für Heizung und BWW (ohne Grundwasserversorgung)	15'094 kWh
- Energiekennzahl für die Periode 02/03 (ohne Grundwasserversorgung) 1	20,67 kWh/m <sup>2</sup> a
- Jahresenergieverbrauch für Heizung und BWW (inkl. Grundwasserversorgung)	16'380 kWh
- Energiekennzahl (inkl. Grundwasserversorgung)	22,44 kWh/m <sup>2</sup> a
- Wärmeleistung der Wärmepumpe (10°C Grundwasser, 50°C Vorlauf)	28 kW
- Investitionen:	
Wärmepumpe mit Regulierung	Fr. 27'000.00
samt Heizungs- und Brauchwasserkondensator	Fr. 3'500.00
Wärmespeicher	Fr. 18'000.00
Grundwasserversorgung Anteil für Baufeld 4.3	Fr. 3'500.00
Engineering, Anteil WP	<u>Fr. 3'500.00</u>
<b>Total Baufeld 4.3</b>	<b>Fr. 52'000.00</b>

**9.2 MFH Baufeld 4.4**

- 12 Wohnungen, 4 1/2 Zimmer	
- Heizleistungsbedarf	48 kW
- Energiebezugsfläche	1'460 m <sup>2</sup>
- Jahresenergieverbrauch für Heizung und BWW (ohne Grundwasserversorgung) für 2004	30'691 kWh
- Energiekennzahl für das Jahr 2004 (ohne Grundwasserversorgung) 1	21,02 kWh/m <sup>2</sup> a
- Jahresenergieverbrauch für Heizung und BWW (inkl. Grundwasserversorgung)	33'186 kWh
- Energiekennzahl (inkl. Grundwasserversorgung)	22,73 kWh/m <sup>2</sup> a
- Wärmeleistung der Wärmepumpe (10°C Grundwasser, 50°C Vorlauf)	54 kW
- Investitionen:	
Wärmepumpe mit Regulierung	Fr. 39'000.00
samt Heizungs- und Brauchwasserkondensator	Fr. 4'500.00
Wärmespeicher	Fr. 28'000.00
Grundwasserversorgung Anteil für Baufeld 4.4	Fr. 5'500.00
Engineering, Anteil WP	<u>Fr. 5'500.00</u>
<b>Total Baufeld 4.4</b>	<b>Fr. 77'000.00</b>

## 10. Kommentar

Bei der Studie ging es darum festzustellen, inwiefern die Jahresarbeitszahl durch Optimierung von Wärmepumpe und Regulierung verbessert werden konnte.

Während in der ersten Bauserie die Arbeitszahl (ohne Grundwasserversorgung) mit 3.14 ausgewiesen wurde, konnte sie in der 2. Bauserie durch Optimierung auf 4.036 und 4.16 gesteigert werden.

Der Kurvenverlauf ist aus dem Vergleichsdiagramm auf Seite 10 ersichtlich.

Folgende Schlussfolgerungen können durch die Auswertung der Daten gezogen werden:

- Der beste Wert von  $A = 4.49$  konnte erreicht werden bei hoher Maschinenauslastung und Vorlufttemperaturen nicht über  $40^{\circ}\text{C}$ .
- Die Brauchwasser-Erwärmung drückt die Arbeitszahl nach unten, wegen den hohen Kondensationstemperaturen von  $60^{\circ}\text{C}$  am Ende der Aufladung. Für das schlechte Ergebnis von  $A = 2,52$  im Sommer ist aber auch der geringe Warmwasser-Konsum massgebend. Die Verluste fallen stärker ins Gewicht. Dies ist auch der Grund, warum die neuste Wärmepumpe für Baufeld 4.4 schlechtere Sommerdaten aufweist als diejenige vom Baufeld 4.3.  
Der BWW-Anteil beträgt 12.1% bei Feld 4.4 und 22.9% bei Feld 4.3.
- Es ist sinnvoll, eine Wärmepumpe für zwei gleiche Häuser zu bauen, an Stelle von Einzelanlagen. Diese Wärmepumpe muss dann aber 2-stufig betrieben werden. Wir haben genau diese Situation in den beiden Baufeldern. Die Wärmepumpe für zwei Häuser ist prozentual wesentlich preisgünstiger und bringt eine bessere Jahresarbeitszahl.
- Die Optimierung der Wärmepumpe lohnt sich wie die folgenden Zahlen zeigen:

	<b>Baufeld 4.3</b>	<b>Baufeld 4.4</b>
Mehrkosten gegenüber Normalausführung	Fr. 2'750.--	Fr. 3'080.—
in % der Normalkosten	11 %	8.5 %
Stromeinsparung gegenüber 1. Bauserie	4'000 kWh	9'860 kWh
Stromeinsparung in Fr.	Fr. 600.--	Fr. 1'479.—
Annuität	21.8 %	48 %

Zusammengefasst ergeben sich die besten Werte bei:

- tiefen Kondensationstemperaturen
- grosser Maschinenauslastung
- mehrstufigen Kompressoren
- grossem Brauchwarmwasser-Bedarf im Sommer