

**Schlussbericht** September 2004

# **Wärmepumpen-Anlage „Pfarrhaus Bremgarten“, Zweijährige Erfolgskontrolle (Messkampagne)**

ausgearbeitet durch  
Dr. Mark Eberhard  
EBERHARD & Partner AG  
Schachenallee 29, 5000 Aarau

**INHALTSVERZEICHNIS**

<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>1</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>2</b>
1. <b>AUFTAG</b>	<b>3</b>
2. <b>AUSGANGSLAGE / ZIEL</b>	<b>3</b>
3. <b>STANDORT / AUSLEGEDATEN</b>	<b>4</b>
4. <b>ENERGIE</b>	<b>5</b>
5. <b>GEOLOGIE / HYDROGEOLOGIE</b>	<b>5</b>
6. <b>MESSKONZEPT / MESSINSTALLATION</b>	<b>5</b>
7. <b>MESSRESULTATE</b>	<b>6</b>
7.1. Aussen-, Grundwasser- und Reusstemperaturverhältnisse	6
7.2. Temperaturverhältnisse im Primär- und im Sekundärkreislauf	7
7.3. Wärmezähler	7
7.4. Stromverbrauch	8
7.5. Betriebsstunden	8
7.6. Durchfluss und Wärmeentnahme	9
7.7. Niederschlagsverhältnisse, Pegelstände	9
8. <b>ENERGIEBILANZ UND JAHRESARBEITSZAHL</b>	<b>10</b>
9. <b>SOLL - IST VERGLEICH</b>	<b>10</b>
10. <b>AUSWERTUNG UND INTERPRETATION DER DATEN</b>	<b>11</b>
10.1. Vergleich der Grund- mit den Reusswassertemperaturen	11
10.2. Temperaturdifferenzen Grundwasser-, Vor- und Rücklauftemperaturen	11
10.3. Auswirkungen der Niederschläge auf Pegelstände und Wasserförderung	11
10.4. Vergleich der Pegelstände und Wassertemperaturen in Bremgarten mit dem zeitgleichen Projekt in Sisseln	12
10.5. Hersteller- und Betriebsdaten	12
11. <b>FUNKTIONSWEISE UND EFFIZIENZ DER ANLAGE</b>	<b>13</b>
12. <b>EFFIZIENZ- UND WIRTSCHAFTLICHKEITSVERGLEICH</b>	<b>14</b>
13. <b>BETRIEBSERFAHRUNG</b>	<b>15</b>
14. <b>SCHLUSSFOLGERUNGEN</b>	<b>15</b>
<b>GRUNDLAGEN / LITERATUR</b>	<b>16</b>
<b>ANHANG</b>	<b>16</b>
<b>BEILAGEN</b>	<b>17</b>



## ZUSAMMENFASSUNG

Für die Beheizung der katholischen Kirche in Bremgarten, inklusive Pfarrhaus und Pfarrhelferhaus, wurde die bestehende Ölheizung im Frühling 2002 zu 37% durch eine Grundwasser-Wärmepumpenanlage substituiert (die Warmwasseraufbereitung erfolgt weiterhin zu 100% mittels Ölheizung). Die Wärmepumpe ist stufengeschaltet, besitzt somit zwei Verdichter.

Tatsächlich konnte zwischen Juni 2002 bis Mai 2004 knapp die Hälfte des Wärmebedarfs durch die Wärmepumpenanlage abgedeckt werden. Allerdings wurde infolge des relativ warmen Winters nicht die maximale Wärmeleistung benötigt.

Die Grundwasser-Wärmepumpenanlage befindet sich in einem geringmächtigen, jahreszeitlich stark schwankenden Grundwasservorkommen. Aufgrund der geringen Mächtigkeit des Grundwassers musste die Anlage mit einem automatischen rückspülbaren Filter (Elimination von Feinpartikeln) und einem Zwischenkreislauf mit Wärmetauscher ausgerüstet werden. Dieser Zwischenkreislauf gewährleistet, dass auch bei periodisch stark schwankenden Grundwasserförderungsraten der Wärmepumpenbetrieb einwandfrei funktioniert. Die zeitweise stark schwankenden Grundwasserförderungsraten im Primärkreislauf bewirken, dass die Wärmeentnahmen aus dem Grundwasser vor dem Zwischenkreislauf teilweise sehr hoch sind und dazu führen, dass im Zwischenkreislauf durch die ständige Wärmeentnahme die Temperaturen sinken. Infolge dieser tiefen Zwischenkreislauftemperaturen sinkt die Heizleistung und führt dazu, dass die JAZ der Wärmepumpe sinkt. Trotz diesem, die Effizienz der Anlage reduzierenden Faktor, wurden die geplanten Betriebsdaten erreicht. Eine JAZ der Wärmepumpe von 3.8 konnte erzielt werden.

Ein Vergleich mit einer Grundwasser- Wärmepumpenanlage in Sisseln (separater BFE Bericht 43'407 / 83'407) ohne Zwischenkreislauf zeigt, dass die Anlage in Bremgarten nur unwesentlich schlechter abschneidet (die Anlage in Sisseln weist eine JAZ der Wärmepumpe von 4 auf). Die jährlichen Betriebskosten liegen in Bremgarten Fr. 110.-- über denjenigen in Sisseln.

Bei beiden Anlagen korrelieren die Grundwassertemperaturen nur geringfügig mit den Außentemperaturen bzw. mit den Temperaturen der nahe gelegenen Vorfluter (Reuss und Rhein in Sisseln). In Sisseln kann dies damit erklärt werden, dass sich diese Anlage im Zuströmbereich des Grundwassers in Richtung Rhein befindet, d.h. nicht im Bereich von Rheinwasser-Exfiltrationen liegt. Die Anlage in Bremgarten hingegen bezieht eindeutig Exfiltrationswasser aus der Reuss. Da auch der Flurabstand des Grundwasserspiegels mit 3 bis 3.5 m relativ gering ist („neutrale Zone“) und nur ein geringmächtiges Grundwasserreservoir von rund 1.5 m zur Verfügung steht, kommt hier einzig die in Beilage 1 ersichtliche, auf geringstem Raum konzentrierte, intensive Grundwasserwärmennutzung als Erklärung in Frage.



## SUMMARY

For heating of a catholic church in Bremgarten, including also parsonage and church living buildings, a ground water heat pump system was installed in spring 2002 to replace 37% of an existing oil heating system (still being used to produce warm water). The heat pump is operating step wise, i.e. consists of two compressors.

With the ground water heat pump it was possible to supply practically half of the heat demand between June 2002 and May 2004. However, the maximum heating capacity was not required due to comparatively mild winter months.

The groundwater heat pump plant is situated in a comparatively thin aquifer with a seasonally highly fluctuating groundwater table. Because of the shallowness of the groundwater reservoir, the heat pump had to be equipped with an automatic back flush filter (to eliminate fines) and a separate, intermediate circulation system including heat exchanger. Due to considerable groundwater fluctuations, this intermediate circulation system was necessary to guarantee a trouble free performance of the heat pump. These groundwater fluctuations are causing in the primary circulation system a too high heat extraction from the ground water such leading to a constant reduction of the temperatures in the intermediate system. Due to these low temperatures both the heating capacity and efficiency (COP) drop. In spite of these efficiency reducing factors, the planned project targets have been achieved, and a COP of 3.8 has been achieved.

A comparison with a groundwater heat pump plant without an intermediate circulation system at Sisseln (separate BFE report 43'407 / 83'407) shows only a slightly better performance than the one of Bremgarten (the COP of the plant in Sisseln amounts to 4). The annual running costs in Bremgarten are Fr. 110.-- higher than in Sisseln.

Groundwater temperatures of both installations are poorly correlating with outside temperatures or water temperatures of the Reuss (in vicinity of Bremgarten) or Rhein (close to Sisseln). In the case of Sisseln, one explanation can be that genuine groundwater and not exfiltrating river water from the Rhein is being used for heat extraction. In Bremgarten, however, doubtlessly exfiltrating water from the Reuss is serving for heat extraction. Furthermore, the distance from ground surface to the water table is rather small (3 to 3.5 m, i.e. is located well within the so called "neutral zone") and a thin aquifer of only 1.5 m thickness occurs. For these reasons, the only explanation for the above mentioned poor correlation is that already now a very extensive ground water heat extraction is taking place within the restricted area shown in Figure 1.



## 1. AUFTRAG

Aufgrund unseres Gesuches vom 26. September 2001 wurde uns mit Verfügung vom 22. Oktober 2001 vom Bundesamt für Energie (BFE) der Auftrag zur Durchführung des vorgeschlagenen Messkonzeptes mit der dafür notwendigen zusätzlichen Anlageninstallation erteilt.

## 2. AUSGANGSLAGE / ZIEL

Für die Beheizung der katholischen Kirche in Bremgarten (inklusive Pfarrhaus und Pfarrhelferhaus, Beilage 2) wurde die bestehende Ölheizung im Frühling 2002 zu 37% durch eine Grundwasser-Wärmepumpenanlage substituiert. Die ersten Messdaten konnten Ende April 2002 erfasst werden. Die Wärmepumpenanlage befindet sich innerhalb der Reusschlüsse am nordöstlichen Rand der Altstadt (Beilagen 1, 2 und 4). Im Zuge von Renovierungsarbeiten wurde an das bestehende Heizsystem (Ölheizung) zusätzlich eine Grundwasserwärmepumpenanlage angeschlossen mit dem Ziel, dass diese wie schon erwähnt rund 40% des Wärmebedarfes der Kirche, des Pfarrhauses und des Pfarrhelferhauses abdecken kann. Das besondere an der Anlage ist, dass die Grundwassermächtigkeit im Idealfall nur 1.5 m und bei sehr trockenen Witterungsverhältnissen sogar nur noch 30 bis 40 cm beträgt. Aufgrund der stark schwankenden Grundwasserverhältnisse und den dementsprechend auch stark schwankenden Grundwasserförderungsraten wurde zwischen die Grundwasserentnahme und der Wärmepumpe ein Wärmetauscher bzw. ein Zwischenkreislauf eingebaut, welcher die von der Wärmepumpe benötigte konstante Durchflussmenge garantiert. Aufgrund der geringmächtigen Grundwasserverhältnisse wurden Entnahme- und Rückgabebrunnen zur Verhinderung von allfälligen Rezirkulationen relativ weit auseinander versetzt.

Ziele des Forschungsprojektes sind:

- Effizienzermittlung der Anlage und Vergleich mit ähnlich ausgestatteten Grundwasser-Wärmepumpenanlagen (der vorliegende Bericht beschreibt die Anlage in Bremgarten und wird mit einer Anlage in Sisseln verglichen)
- Ermittlung des jahreszeitlichen Grundwassertemperaturverlaufs
- Ermittlung des Stromverbrauchs bei unterschiedlicher Wärmeentnahme und Grundwassertemperaturen
- Wärmebilanzermittlung

Folgende Parameter werden automatisch in regelmässigen Abständen erfasst (Beilagen 6 und 10):

- Außentemperaturen (in °C)
- Grundwassertemperaturen (in °C)
- Grundwasserstandsmessung (in m UKT)
- Vor- und Rücklauftemperaturen im Primärkreislauf (in °C)
- Vor- und Rücklauftemperaturen im Sekundärkreislauf [Wärmekreislauf] (in °C)
- Wärmezählung im Primärkreislauf (in kWh)
- Wärmezählung im Sekundärkreislauf (in kWh)
- Stromverbrauchsermittlung der Verdichter in der Wärmepumpe und der Unterwasserpumpe (kWh)
- Betriebsstundenzählung der Verdichter in der Wärmepumpe



## Datenerfassung und Verarbeitung

Nach der Installation der Wärmepumpenanlage konnten am 25. April 2002 bereits erste Daten erfasst und in unsere Software (HYDRAS 3) eingespielen werden. Am 23. Mai 2002 begann die gesamte periodische Datenerfassung. Die Messfrequenz beträgt beim Betriebsstundenzähler eine Messung pro Minute und beim Aussentemperaturfühler eine Messung pro 15 Minuten. Bei den restlichen Daten beträgt die Messfrequenz eine Messung pro Stunde. Am 26. September 2002 wurde die Frequenz beim Grundwassertemperaturfühler auf 1 Messung pro 5 Minuten erhöht. Die Daten werden von uns zweimal wöchentlich per Modem abgefragt.

## 3. STANDORT / AUSLEGEDATEN

Baujahr der Anlage:	2001
Beheizte Fläche Kirche:	780 m <sup>2</sup>
Beheizte Fläche Gebäude <sup>1)</sup> :	720 m <sup>2</sup>
Wärmeverteilung:	Radiatoren
Warmwasser:	Ölheizung
Wärmeleistungsbedarf <sup>2)</sup> Gebäude + Kirche:	$1500 \text{ m}^2 \times 50 \text{ W/m}^2 = 75 \text{ kW}$
Max. Heizleistung WP (W 10 / W 50):	26.6 kW <sup>3)</sup>
Wassermenge Unterwasserpumpe (Liter / Minute):	10 – 90 l/min <sup>4)</sup> (10 – 42 l/min) <sup>5)</sup>
Wassermenge Zwischenkreislauf (Liter / Minute):	90 l/min <sup>6)</sup>
Leistung GW (Kälteleistung bei W 10 / W 35):	19.7 kW <sup>3)</sup>
Leistung Verdampfer (W 10 / W 35):	7.0 kW <sup>3)</sup>
Grundwasserpumpen Typ / Fabrikat:	Grundfos / SP 8A-7 (SP 8A-5) <sup>5)</sup>
Leistung GW-Pumpe:	1.1 kW (0.75 kW) <sup>5)</sup>
Wärmepumpen Typ:	Vitocal 300 (WW 220) <sup>7)</sup>
Fabrikat:	Viessmann
Kältemittel:	R407 C
Zwischenkreislauf:	Ja, mit 20% Ethylenglycol
Sandfilter:	Robinex, Maschenweite: 250 µm
Planung / Beratung / Installation:	Würmlli Haustechnik – Planung, Wettlingen, EBERHARD & Partner AG, Aarau

1) Pfarrhaus und Pfarrhelferhaus, 2) Wärmeleistung wird durch WP und Heizkessel geliefert, 3) Angabe des Herstellers, 4) Abhängig vom Grundwasserstand, 5) bis Mitte November 2003, 6) Im Zwischenkreislauf d.h. in der WP ist der Durchfluss immer konstant (Beilage 10), 7) Diese WP läuft mit 2 Verdichtern

Die Wärmepumpenanlage befindet sich innerhalb des Mäanderknies der Reuss in Bremgarten (Beilagen 1 und 4). Bei der eingesetzten Grundwasser-Wärmepumpe handelt es sich um eine Maschine der Firma Viessmann (Typ Vitocal 300) mit einer Wärmekapazität Qh von 28.4 kW und einem Durchsatz von maximal 5.4 m<sup>3</sup>/h (90 l/min). Die Wärmepumpe ist stufen geschaltet, besitzt somit zwei Verdichter. Die Umwälzpumpe im Zwischenkreislauf (Platten tauscher bis Wärmepumpe) hat einen konstanten Durchfluss von 90 l/min. Der Durchfluss vor dem Wärmetauscher schwankt aufgrund der Grundwasserverhältnisse zwischen 10 – 90 l/min.



## 4. ENERGIE

Periode: Juni 2002 – Mai 2004 (Beilagen 7, 8 und 9):

	Jahr	S* 02	HP** 02/03
Erbrachte Heizenergie:	Jun 02 – Mai 03	Jun 02 – Aug 02	Sep 02 – Mai 03
Genutzte Wärme aus dem Grundwasser:	85'490 kWh/a	2'363 kWh	83'127 kWh
Stromverbrauch (nur WP):	65'131 kWh/a	1'900 kWh	63'231 kWh
Stromverbrauch (WP, UWP, UPz, UPS):	23'794 kWh/a	672 kWh	23'122 kWh
Verluste:	26'664 kWh/a	756 kWh	25'908 kWh
Betriebsstunden WP:	6'305 kWh/a	293 kWh	6'012 kWh
JAZ (nur WP):	3'895 h	93 h	3'802 h
JAZ (WP und UWP):	3.6	3.5	3.6
	3.2	3.1	3.2
	Jahr	S* 03	HP** 03/04
Erbrachte Heizenergie:	Jun 03 – Mai 04	Jun 03 – Aug 03	Sep 03 – Mai 04
Genutzte Wärme aus dem Grundwasser:	101'112 kWh/a	408 kWh	100'704 kWh
Stromverbrauch (nur WP):	78'184 kWh/a	320 kWh	77'864 kWh
Stromverbrauch (WP, UWP, UPz, UPS):	26'324 kWh/a	107 kWh	26'217 kWh
Verluste:	30'301 kWh/a	118 kWh	30'183 kWh
Betriebsstunden WP:	7'373 kWh/a	30 kWh	7'343 kWh
JAZ (nur WP):	4'070 h	16 h	4'054 h
JAZ (WP und UWP):	3.8	3.8	3.8
	3.3	3.5	3.3

S\* = Sommer, HP\*\* = Heizperiode, WP = Wärmepumpe, UWP = Unterwasserpumpe, UPS = Umwälzpumpe WP-Speicher, UPz = Umwälzpumpe zwischen Tauscher und WP

## 5. GEOLOGIE / HYDROGEOLOGIE

Die Reusstalsohle wird von mächtigen eiszeitlichen Seebodenlehmen gebildet. Darüber liegen geringmächtige späteiszeitliche Rückzugsschotter, die zum Teil gut durchlässig sind und Grundwasser enthalten. Im Bereich der Geländeterrasse, wo sich die Stadtkirche befindet, trifft sich der begrenzte Grundwasserstrom mit dem Uferinfiltrat der Reuss (Beilagen 1, 3 und 4). Die Schotterterrasse wurde in diesem Bereich bis auf wenige Meter abgetragen und von einer geringmächtigen, lehmigen Deckschicht überdeckt. Die im Zusammenhang mit dem Grundwasserbrunnen realisierte Bohrung zeigt auf, dass die gut durchlässigen Schotter (k-Wert von  $2.5 \times 10^{-3}$  m/s) eine Mächtigkeit von insgesamt 2.9 m erreichen (Beilagen 3 und 10). Darunter folgen die Ablagerungen einer geringmächtigen (ca. 30 cm) Grundmoräne und feinkörnige Seetonablagerungen bis zur Endtiefe der Bohrung von knapp 6 m.

## 6. MESSKONZEPT / MESSINSTALLATION

Wie schon bei der Parameterauflistung ersichtlich, wird bei der Anlage auf der Primärseite der Grundwasserstand und die Grundwassertemperatur direkt im Entnahmestollen erfasst. Zusätzlich werden auf der Primärseite vor dem Eintritt in den Zwischenkreislauf bzw. beim Austritt aus demselben die Temperaturverhältnisse nochmals ermittelt (Beilagen 5, 6 und 10). Im Sekundärkreislauf, von der Wärmepumpe zum Speicher, werden wiederum die Vor- und Rücklauftemperaturen erfasst. Mittels je eines Wärmezählers wird die Wärmeförderung im Primärkreislauf und der Wärmeverbrauch im Sekundärkreislauf überwacht. Bei



den beiden Verdichtern der Wärmepumpe sowie bei der Unterwasserpumpe werden sowohl die Betriebstunden als auch der Stromverbrauch registriert. Ein Aussentemperaturfühler erlaubt es, den jeweiligen Wärmebezug in Relation zu den Temperaturverhältnissen außerhalb der beheizten Räume zu setzen (Beilagen 4, 6 und 10).

## 7. MESSRESULTATE

Bei den Messerhebungen werden die Werte Juni 2002 bis Ende Mai 2004 betrachtet. Bei den folgenden Ausführungen ist mit „Sommer“ die Periode von Anfang Juni bis Ende August und mit „Heizperiode“ jene von Anfang September bis Ende Mai gemeint.

### 7.1. Aussen-, Grundwasser- und Reusstemperaturverhältnisse

#### Aussentemperaturen (Beilage 12)

Der Aussentemperaturfühler befindet sich an der Nordfassade des Pfarrhauses (Beilage 4). Es ergeben sich folgende Tagesmittelwerte:

Saison / Temperaturen (Monatsmittel)	Periode	Ø °C	min. °C	max. °C
Sommer 2002	Jun 02 - Aug 02	19.9	14.1	26.9
Heizperiode 2002 - 2003	Sep 02 - Mai 03	5.9	-5.1	15.6
Sommer 2003	Jun 03 - Aug 03	23.4	16.1	27.7
Heizperiode 2003 - 2004	Sep 03 - Mai 04	8.5	-1.9	23.1
1. Jahr	Jun 02 - Mai 03	11.2	-5.1	26.9
2. Jahr	Jun 03 - Mai 04	12.2	-1.9	27.7

#### Grundwassertemperaturen (Beilagen 13, 14 und 16)

Die Grundwassertemperaturmessungen wurden im Entnahmestollen durchgeführt (Beilage 6). Nach dem Einbau der neuen Grundwasserpumpe im November 2003 wurde die Temperaturerfassung zwischenzeitlich stark durch die Abwärme der Grundwasserpumpe beeinflusst, da der Temperaturfühler zu nahe bei der Unterwasserpumpe lag. Die Werte wurden aus den Daten gestrichen und als Datenlücke behandelt (Beilage 16). Die Messwerte beziehen sich auf das Tagesmittel der Messperiode Juni 2002 – Mai 2004.

Saison / Temperaturen (Monatsmittel)	Periode	Ø °C	min. °C	max. °C
Sommer 2002	Jun 02 - Aug 02	11.6	Jun 10.5	Aug 13.0
Heizperiode 2002 - 2003	Sep 02 - Mai 03	11.4	Apr 9.5	Sep 14.0
Sommer 2003	Jun 03 - Aug 03	11.7	Jun 10.7	Aug 13.7
Heizperiode 2003 - 2004	Sep 03 - Mai 04	11.8	Mrz 9.7	Okt 14.6
1. Jahr	Jun 02 - Mai 03	11.5	9.5	14.0
2. Jahr	Jun 03 - Mai 04	11.8	9.7	14.6

#### Reusstemperaturen (Beilage 16)

Die aufgeführten Reusswassertemperaturen stammen von der Messstation Reuss – Mellingen (LH 2018), welche durch das Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), Landeshydrologie betrieben wird.

Saison / Temperaturen (Monatsmittel)	Periode	Ø °C	min. °C	max. °C
Sommer 2002	Jun 02 - Aug 02	18.7	Jun 13.5	Aug 22.3
Heizperiode 2002 - 2003	Sep 02 - Mai 03	9.8	Feb 2.8	Sep 19.0
Sommer 2003	Jun 03 - Aug 03	22.5	Jun 17.3	Aug 25.8
Heizperiode 2003 - 2004	Sep 03 - Mai 04	9.3	Feb 3.3	Sep 20.1
1. Jahr	Jun 02 - Mai 03	11.9	2.8	22.3
2. Jahr	Jun 03 - Mai 04	12.7	3.3	25.8



## 7.2. Temperaturverhältnisse im Primär- und im Sekundärkreislauf

Im Folgenden werden nur Temperaturwerte betrachtet, die während des Wärmepumpenbetriebs gemessen wurden.

### Primärkreislauf vor dem Zwischenkreislauf (Beilagen 5, 10 und 13)

Die Temperaturen im Primärkreislauf wurden vor dem Wärmetauscher gemessen. Die Temperaturen des Zwischenkreislaufes wurden nicht erfasst.

Saison / Temperaturen (Monatsmittel)	Periode	Vorlauftemperaturen			Rücklauftemperaturen		
		Ø °C	min. °C	max. °C	Ø °C	min. °C	max. °C
Sommer 2002	Jun 02 - Aug 02	16.0	14.3	16.9	4.0	2.0	5.1
Heizperiode 2002 - 2003	Sep 02 - Mai 03	13.2	11.0	16.8	3.0	0.6	8.3
Sommer 2003	Jun 03 - Aug 03	16.6	15.5	17.6	6.9	6.5	7.3
Heizperiode 2003 - 2004	Sep 03 - Mai 04	13.4	11.0	17.6	5.9	3.2	8.9
1. Jahr	Jun 02 - Mai 03	13.9	11.0	16.9	3.3	0.6	8.3
2. Jahr	Jun 03 - Mai 04	14.8	11.0	17.6	7.6	3.2	8.9

### Sekundärkreislauf (Beilagen 5, 10 und 13)

Saison / Temperaturen (Monatsmittel)	Periode	Vorlauftemperaturen			Rücklauftemperaturen		
		Ø °C	min. °C	max. °C	Ø °C	min. °C	max. °C
Sommer 2002	Jun 02 - Aug 02	40.8	29.7	46.9	32.6	23.8	37.3
Heizperiode 2002 - 2003	Sep 02 - Mai 03	45.6	43.7	48.4	36.9	34.7	38.9
Sommer 2003	Jun 03 - Aug 03	47.5	46.5	48.4	32.5	35.4	37.6
Heizperiode 2003 - 2004	Sep 03 - Mai 04	47.0	43.7	49.3	37.1	35.7	38.7
1. Jahr	Jun 02 - Mai 03	44.4	29.8	48.4	35.8	23.8	38.9
2. Jahr	Jun 03 - Mai 04	45.4	43.7	49.3	36.0	35.4	38.7

## 7.3. Wärmezähler

### Wärmeentzug (Beilagen 7 - 11)

Der Wärmeentzug und die Heizwärme wurden mittels Wärmezählern der Firma NeoVac ermittelt und aufgezeichnet (Beilagen 5 und 6).

Saison	Periode	Wärmeentzug kWh	Heizwärme kWh
Sommer 2002	Jun 02 - Aug 02	1'900	2'363
Heizperiode 2002 - 2003	Sep 02 - Mai 03	63'231	83'127
Sommer 2003	Jun 03 - Aug 03	320	408
Heizperiode 2003 - 2004	Sep 03 - Mai 04	77'864	100'704
1. Jahr	Jun 02 - Mai 03	65'131	85'490
2. Jahr	Jun 03 - Mai 04	78'184	101'112



## 7.4. Stromverbrauch

### Verdichter, Unterwasserpumpe

Der Stromverbrauch wurde mittels Stromverbrauchszähler und in einem Datenlogger gesammelt (Beilagen 7-11).

Saison	Periode	Stromverbrauch Verdichter kWh	Stromverbrauch Unterwasserpumpe kWh
Fabrikat Typ		Viessmann Victocal 300 5.0 kW	Grundfos SP 8A – 7 (SP 8A – 5)* 1.1 kW
Sommer 2002	Jun 02 - Aug 02	672	49
Heizperiode 2002 - 2003	Sep 02 - Mai 03	23'122	1'341
Sommer 2003	Jun 03 - Aug 03	107	5
Heizperiode 2003 - 2004	Sep 03 - Mai 04	26'217	2'425
1. Jahr	Jun 02 - Mai 03	23'794	1'390
2. Jahr	Jun 03 - Mai 04	26'324	2'430

\* in Betrieb bis November 2003

### Umwälzpumpen

Der Stromverbrauch der Umwälzpumpen im Zwischen- und Sekundärkreislauf (Beilagen 6 und 10) wurde mittels der Nennleistung und der Betriebsstunden (Abschnitt 7.5) der Wärmepumpe berechnet (Beilage 7).

Saison	Periode	Stromverbrauch der Umwälzpumpen im Zwischenkreislauf kWh	Umwälzpumpen im Sekundärkreislauf bis zum Speicher kWh
Fabrikat Typ		Grundfos UPS32-120F 240 W	Grundfos UPS 32-50 140 W
Durchfluss		90 l/min	42 l/min
Sommer 2002	Jun 02 - Aug 02	22	13
Heizperiode 2002 - 2003	Sep 02 - Mai 03	912	532
Sommer 2003	Jun 03 - Aug 03	4	2
Heizperiode 2003 - 2004	Sep 03 - Mai 04	973	568
1. Jahr	Jun 02 - Mai 03	935	545
2. Jahr	Jun 03 - Mai 04	977	570

## 7.5. Betriebsstunden

### (Beilagen 7, 8, 9 und 10)

Die Unterwasserpumpe weist längere Betriebszeiten auf als die Wärmepumpe. Dies kommt durch den kurzen Betriebsvorlauf der Unterwasserpumpe vor dem Einschalten der Wärmepumpe zustande. In den Anfangsmonaten (Test und Einstellungsphase) und im November 2003 ist allerdings der Unterschied der Betriebsstunden aufgrund von Einstellungsänderungen und Betriebsstörungen der Wärmepumpe zu hoch ausgefallen (Beilage 7).



Saison	Periode	Betriebsstunden Wärmepumpe h	Betriebsstunden Unterwasserpumpe h
Sommer 2002	Jun 02 - Aug 02	93	102
Heizperiode 2002 - 2003	Sep 02 - Mai 03	3'802	3'865
Sommer 2003	Jun 03 - Aug 03	16	18
Heizperiode 2003 - 2004	Sep 03 - Mai 04	4'054	4'131
1. Jahr	Jun 02 - Mai 03	3'895	3'967
2. Jahr	Jun 03 - Mai 04	4'070	4'149

## 7.6. Durchfluss und Wärmeentnahme

### (Beilage 17)

Durch den lang anhaltenden Niedrigwasserstand in den Monaten Mai 2003 bis Februar 2004 wurde deutlich mehr Sand mit dem Grundwasser angesogen als bei normalem Grundwasserstand. Dies führte zum Verstopfen des Filters. Dadurch konnte die Unterwasserpumpe die erforderliche Durchflussmenge nicht mehr gewährleisten und förderte statt der vorgesehenen 60 l/min nur noch 10 - 25 l/min (Beilage 17). Nach dem Einbau eines automatischen rückspülbaren Filters konnte das Problem noch nicht behoben werden, da die Unterwasserpumpe den notwendigen Druck für die Rückspülung nicht erbrachte. Mit dem Einbau einer leistungsstärkeren Pumpe im November 2003 konnten schliesslich im Schnitt 57 l/min gefördert werden (Beilage 17). Aufgrund des anhaltend tiefen Wasserstandes konnte jedoch in der Folge die gewünschten Wassermenge von 60 l/min wiederum nicht gefördert werden. Durch diese unregelmässige und oft zu geringe Grundwasserförderung musste das  $\Delta T$  ständig verändert werden um auf der Sekundärseite den erforderlichen Wärmebedarf abzudecken (Beilagen 17 und 21). Da in der Wärmepumpe ein konstanter Durchfluss von 90 l/min gewährleistet werden muss, würde das System ohne Zwischenkreislauf gar nicht funktionieren (Beilage 10).

## 7.7. Niederschlagsverhältnisse, Pegelstände

### Niederschlag (Beilagen 15 und 16)

Die Niederschlagsdaten entstammen der Messstation Aarau/Buchs und dienen als Richtwerte. Während der Messperiode von Juni 2002 bis Mai 2004 belief sich der Niederschlag auf 1'822 mm. Aus den erhobenen Werten resultiert ein Tagesmaximum von 42.4 mm.

Niederschlag in mm	Jun 02 – Aug 02	Sep 02 – Mai 03	Jun 03 – Aug 03	Sep 03 – Mai 04	Jun 02 – Mai 03	Jun 03 – Mai 04
Summe (mm)	276.4	772.6	188.0	584.9	1049.0	772.9
Tagesmax. (mm)	34.5	40.0	42.4	42.2	40.0	42.4

### Reusswasserstände (Beilage 15)

Die aufgeführten Reusswasserstände stammen von der Messstation Reuss - Mellingen (LH 2018), welche durch das Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), Landeshydrologie betrieben wird.



Saison (Tagesmittel)	Periode	Ø		min.		max.	
		$m_n$	m ü.M.	$m_n$	m ü.M.	$m_n$	m ü.M.
Sommer 2002	Jun 02 - Aug 02	5.04	345.04	4.28	344.28	6.06	346.06
Heizperiode 2002 - 2003	Sep 02 - Mai 03	4.47	344.47	3.85	343.85	5.96	345.96
Sommer 2003	Jun 03 - Aug 03	4.48	344.48	4.00	344.00	5.09	345.09
Heizperiode 2003 - 2004	Sep 03 - Mai 04	4.10	344.10	3.75	343.75	5.13	346.13
1. Jahr	Jun 02 - Mai 03	4.60	344.60	3.85	343.85	6.06	346.06
2. Jahr	Jun 03 - Mai 04	4.20	344.21	3.75	343.75	5.13	345.13

$m_n$ : Pegelhöhe in Metern, bezogen auf Messpunktthöhe 340 m ü.M.

### Grundwasser (Beilage 15)

Der Grundwasserpegel wurden im Entnahmestollen mittels Drucksonde erhoben.

Saison (Tagesmittel)	Periode	Ø		min.		max.	
		$m_{UKT}$	m ü.M.	$m_{UKT}$	m ü.M.	$m_{UKT}$	m ü.M.
Sommer 2002	Jun 02 - Aug 02	-3.11	381.89	-3.34	381.66	-2.99	382.01
Heizperiode 2002 - 2003	Sep 02 - Mai 03	-3.48	381.52	-3.94	381.06	-3.03	381.97
Sommer 2003	Jun 03 - Aug 03	-3.44	381.56	-3.65	381.35	-3.14	381.86
Heizperiode 2003 - 2004	Sep 03 - Mai 04	-3.72	381.28	-4.37	380.63	-3.15	381.85
1. Jahr	Jun 02 - Mai 03	-3.39	381.61	-3.94	381.06	-2.99	382.01
2. Jahr	Jun 03 - Mai 04	-3.65	381.35	-4.37	380.63	-3.14	381.86

$m_{UKT}$ : Grundwasserpegel Unterkante Terrain, Terrainhöhe = 385 m ü.M.

## 8. ENERGIEBILANZ UND JAHRESARBEITSZAHL

### (Beilagen 7 - 10)

Saison	Periode	Wärme-entzug kWh	Strom Verdichter kWh	Strom total kWh	Heiz- wärme kWh	Verlust* kWh	JAZ (WP)	JAZ (gesamt)
Sommer 2002	Jun 02 - Aug 02	1'900	672	756	2'363	293	3.5	3.1
Heizperiode 2002 - 2003	Sep 02 - Mai 03	63'231	23'122	25'908	83'127	6'012	3.6	3.2
Sommer 2003	Jun 03 - Aug 03	320	107	118	408	30	3.8	3.5
Heizperiode 2003 - 2004	Sep 03 - Mai 04	77'864	26'217	30'183	100'704	7'343	3.8	3.3
1. Jahr	Jun 02 - Mai 03	65'131	23'794	26'664	85'490	6'305	3.6	3.2
2. Jahr	Jun 03 - Mai 04	78'184	26'324	30'301	101'112	7'373	3.8	3.3

\* Verluste = Plattenauscher und Hilfsaggregate (Pumpe, Kreiselpumpen)

## 9. SOLL - IST VERGLEICH

Mit der Realisierung der Grundwasser-Wärmepumpenanlage in Bremgarten war geplant, 37% des durch die bestehende Ölheizung gestellten Gesamtwärmebedarfs durch diese neue Anlage abzudecken. Die effektiven Daten zeigen nun, dass gemäss dem Ölverbrauch vom Juni 2002 bis Mai 2004 jedoch knapp die Hälfte des Wärmebedarfs durch die Wärmepumpenanlage abgedeckt wurde. Dies ist deutlich mehr als die ursprünglichen geplanten 37%.



Dies ist jedoch darauf zurückzuführen, dass während des beobachteten Zeitraumes nicht die ganze mögliche Wärmeleistung benötigt wurde.

Ermittelte Daten	Sollwert *	Istwert **
Betriebsstunden (h)	4'000	4'070
Grundwasser (kWh/a)	78'800	78'184
Heizenergie (kWh/a)	106'400	101'112
Stromverbrauch WP (kWh/a)	27'800	26'324

\* bei  $W = 10^{\circ}\text{C}$  /  $W = 50^{\circ}\text{C}$ ,

\*\* Werte des 2. Jahres, Juni 2003 – Mai 2004 (Beilage 7)

## 10. AUSWERTUNG UND INTERPRETATION DER DATEN

### 10.1. Vergleich der Grund- mit den Reusswassertemperaturen

Vergleicht man den Temperaturverlauf des Grundwassers mit demjenigen der Reuss (Beilagen 14 und 16), so stellt man fest, dass das Grundwasser mit einer Verzögerung von rund 2 Monaten auf Veränderungen der Reusswasser- bzw. Aussentemperaturen reagiert. Das Temperaturmaximum des Grundwassers ist somit erst im Oktober zu beobachten, im Gegensatz zum Maximum der Reusstemperatur, welches schon im Hochsommer (August) erreicht wird.

Die Temperaturen des Reusswassers werden stark von den Aussentemperaturen beeinflusst. Einem Aussentemperaturanstieg folgt somit ein rascher Anstieg der Reusstemperatur (Beilage 14). Die Niederschläge verursachen in der Regel eine Temperaturabsenkung des Reusswassers. Ein Einfluss der Niederschläge auf die Temperatur des Grundwassers ist nicht messbar.

Zwischen dem im Südosten der Reussschlaufe in die Bodenschichten eindringenden Reusswasser (Grundwasser) und dem Bodenmaterial findet ein Temperaturausgleich statt. Das im Sommer sehr warme Reusswasser (bis gegen  $26^{\circ}\text{C}$  im Sommer 03) kühlt bis zum Entnahmestollen der Wärmepumpenanlage auf gegen  $15^{\circ}\text{C}$  ab. Im Winter findet ein gegenläufiger Temperaturausgleich statt (Beilagen 1,14 und 18).

### 10.2. Temperaturdifferenzen Grundwasser-, Vor- und Rücklauftemperaturen

Die Grundwassertemperatur liegt je nach Saison und Pumpbetrieb zwischen 1 bis  $2^{\circ}\text{C}$  unter der Vorlauftemperatur im Primärkreislauf (Beilage 13). Dies kann im Wesentlichen auf die Erwärmung des Grundwassers durch die Förderpumpe und den Wärmeaustausch zwischen Grundwasser- und Raumtemperatur im Heizungsraum zurückgeführt werden (nicht isolierte Abschnitte). Während längerer Betriebspausen steigen die Vor- und Rücklauftemperaturen bis auf die Raumtemperaturen an. Für die Auswertung (Beilage 13) wurden daher nur die Temperaturen während des Wärmepumpenbetriebes erfasst.

### 10.3. Auswirkungen der Niederschläge auf Pegelstände und Wasserförderung

Erwartungsgemäss steigt der Reusspegel nach intensiven Niederschlägen mit einer geringen zeitlichen Verzögerung an (Beilage 15). Der Grundwasserspiegel reagiert in gleicher Weise auf Niederschläge, allerdings in abgeschwächter Form. Da der Grundwasserstand im Entnahmestollen gemessen wird, ist eine Absenkung des Grundwasserspiegels (ca. 30 –

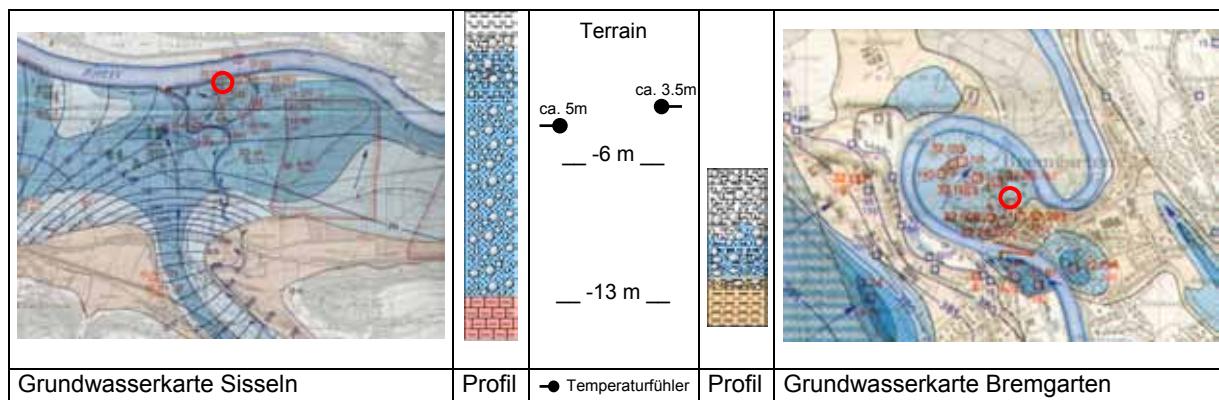


40 cm, je nach Förderleistung der Grundwasserpumpe) beim Wärmepumpenbetrieb sichtbar. Durch den Einbau der neuen Grundwasserpumpe im November 2003 tritt dieser Effekt in den Wintermonaten 03/04 deutlich hervor (Beilage 15).

## 10.4. Vergleich der Pegelstände und Wassertemperaturen in Bremgarten mit dem zeitgleichen Projekt in Sisseln<sup>1</sup>

Vergleicht man die Reusswassertemperaturen mit denjenigen des Rheins, so kann erkannt werden, dass der jahreszeitliche Verlauf praktisch identisch ist (Beilage 18). Das Verhalten der Grundwassertemperaturen beider Standorte weicht hingegen stark voneinander ab:

Während der Temperaturanstieg des Grundwassers in Bremgarten demjenigen der Reuss mit einer Verzögerung von ca. 2 Monaten folgt, erhöht sich die Grundwassertemperatur in Sisseln scheinbar schon nach 2 Wochen. Wenn man allerdings die Grösse und Mächtigkeit dieses Grundwasserkörpers genauer betrachtet, dürfte eine Verzögerung von ca. 1 Jahr wahrscheinlicher sein (Beilage 18).



## 10.5. Hersteller- und Betriebsdaten

### Entzugs- und Heizleistung im Vergleich mit der elektrischen Leistungsaufnahme

Vergleicht man die effektiven Entzugs- und Heizleistungen der Wärmepumpe mit den von den Herstellern angegebenen Maschinenwerten, so lässt sich erkennen, dass diese recht gut mit den erhobenen Betriebsdaten übereinstimmen (Beilage 21). Es wird hierbei ersichtlich, dass die JAZ mehrheitlich dem Sollwert entspricht oder sogar besser ist. In einigen Fällen, in welchen das  $\Delta T$  vor dem Wärmetauscher bei 12 bis 14 K liegt, ist sie jedoch schlechter (Beilage 21, Fig. A und B und Beilage 10).

### Die Abhängigkeit der elektr. Leistungsaufnahme bzw. der Heizleistung vom $\Delta T$

Betrachtet man die elektrische Leistungsaufnahme und vergleicht sie mit den vor dem Zwischenkreislauf entnommenen  $\Delta T$ , so lässt sich erkennen, dass die mit zunehmendem  $\Delta T$  sinkt (Beilage 21, Fig. C). Die Temperatur im Zwischenkreislauf nimmt jedoch bei zunehmendem  $\Delta T$  ab (Beilage 21, Fig. D). Dadurch wird die elektrische Leistungsaufnahme kleiner und dementsprechend sinkt die Heizleistung (Beilage 21, Fig. C, Beilage 22). Die JAZ (WP)

<sup>1</sup> Wärmepumpen-Anlage Feuerwehrmagazin und Wohnungen Sisseln, zweijährige Erfolgskontrolle (Messkampagnen), DIS-Projekt Nr.: 43'407



jedoch pendelt über den gesamten  $\Delta T$ -Bereich hinweg zwischen 3.5 und 4.2 hin und her und zeigt keinen Trend auf.

### **Die Abhängigkeit der Heizleistung, der elektr. Leistungsaufnahme und die JAZ von den Grundwassertemperaturen**

Wie erwartet nimmt die Heizleistung mit zunehmender Grundwassertemperatur zu und die elektrische Leistungsaufnahme ab. Entsprechend nimmt die JAZ (WP) allmählich von 3.6 bis gegen 4.3 zu. Die JAZ liegt dabei bei Grundwassertemperaturen von z.B. 10 bis 11°C unter den vom Werk angegebenen JAZ-Daten, bei z.B. 13 bis 14°C steigt sie jedoch über diese an.

Wie schon im obigen Abschnitt erwähnt, messen wir die Temperaturen vor dem Wärmetauscher.

Bei gleichem Wärmeentzug respektive gleicher Heizwärmeerzeugung können folgender Stromaufwand und Temperaturdifferenzen in Abhängigkeit des Grundwasser-Durchflusses beobachtet werden:

Ermittelte Daten	Einheit	23. Januar 2004	12. Februar 2004
Durchfluss	l / min	82.1	42.7
Temperaturdifferenz $\Delta T^*$	K	3.46	6.09
Temperaturen im Zw.Kreislauf	°C / °C	10.7 °C / 8.2°C => $\Delta T = 2.5$ K	6.6 °C / 4.6°C => $\Delta T = 2.0$ K
Wärmeentzug	kWh	476	472
Heizwärme	kWh	668	670
Betriebsdauer (WP)	h	24	26
Stromverbrauch WP	kWh	181	181
Stromverbrauch UWP	kWh	17.2	20.7
JAZ (WP)		3.7	3.7

$\Delta T^*$  = Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf- und Rücklauftemperatur vor dem Wärmetauscher, WP = Wärmepumpe, UWP = Unterwasserpumpe, Zw.Kreislauf = Zwischenkreislauf (zwischen Wärmetauscher und Wärmepumpe)

Aus der Tabelle wird deutlich sichtbar, dass bei gleichem Wärmeentzug eine Halbierung der Durchflussmenge praktisch eine Verdoppelung der entnommenen Temperatur bewirkt. Für den gleichen Wärmeentzug braucht es jedoch nur eine Verlängerung der Betriebszeit um 2 Stunden. Der Stromverbrauch sowie die JAZ (WP) bleiben gleich, nur der Stromaufwand der Grundwasserpumpe ist infolge der längeren Betriebszeit höher. Durch den Zwischenkreislauf bzw. den Wärmetauscher ist der Durchfluss bei der WP immer konstant. Die unregelmässigkeiten im Durchfluss der Grundwasserpumpe werden somit abgefangen. Nur in Zeiten mit sehr geringem Durchfluss und hohem Wärmebedarf kühl das Wasser im Zwischenkreislauf so stark ab, dass die Wassertemperatur unter die Betriebstemperatur der WP fällt und der Betrieb einstellt wird.

## **11. FUNKTIONSWEISE UND EFFIZIENZ DER ANLAGE**

Die Anlage in Bremgarten liegt in einem geringmächtigen Grundwasserbereich, welche vom Vorfluter (Reuss) stark beeinflusst wird, während jene in Sisseln unmittelbar südlich des Rheins liegt, jedoch von diesem aufgrund der Grundwasserströmungsverhältnisse nicht oder nur marginal beeinflusst wird (Beilagen 19 und 20).



Wie in den vorhergehenden Kapiteln erläutert, liegt die Grundwasser-Wärmepumpenanlage in Bremgarten in einem sehr geringmächtigen Grundwassergebiet, dessen Grundwasserspiegel je nach Witterungsverhältnissen stark schwankt und unmittelbar auf Niederschlagsereignisse reagiert (Beilagen 3, 6 und 14, 15). Je nach Wärmebedarf und Grundwasserständen ergeben sich dabei Verhältnisse, in welchen nur gerade 10 l/min oder dann aber bis zu 90 l/min Grundwasser gefördert werden können. Da die Wärmepumpe jedoch konstante Durchflussraten von 90 l/min benötigt, musste zwischen Grundwasserentnahme und Wärmepumpenanlage ein Wärmetauscher mit Zwischenkreislauf eingesetzt werden (Beilagen 10 und 17). Bei sehr niedrigen Grundwasserständen kann nicht nur sehr wenig Grundwasser gezogen werden, es wird dann auch sehr viel Sand mit dem Grundwasser mitgeschleppt, welcher ohne den eingebauten automatisch rückspülbaren Filter das System verstopfen würde.

Die Grundwassertemperaturen steigen in den Sommer- bis Herbstmonaten bis gegen 15°C an. Hieraus kann geschlossen werden, dass sie, allerdings bis 2 Monate verzögert, auf die Temperaturverhältnisse der Reuss (bis gegen 26°C Mitte August) reagieren. Beim Durchströmen der Bodenschichten findet zwischen dem warmen Reuss- bzw. Grundwasser und den kühleren Bodenschichten ein Temperaturaustausch statt, in dem sich das südöstlich in die Bodenschichten eindringende Reuss- bzw. Grundwasser gegen Nordwesten hin von anfänglich 26°C bis gegen 15°C abkühlt (Beilagen 1 und 4). Dieser Prozess ist fliessend und funktioniert natürlich auch in der anderen Richtung.

Die Effizienz der Anlage ist von den Temperaturen im Zwischenkreislauf bzw. von den vor dem Wärmetauscher erfassten Grundwassertemperaturen abhängig. Bei zu geringem Durchfluss vor dem Wärmetauscher kommt es zu einer verstärkten Abkühlung im Zwischenkreislauf. Der Durchfluss im Zwischenkreislauf ist konstant bei 90l/min und das  $\Delta T$  bei 2 bis 2.7K, so dass bei tieferen Grundwassertemperaturen die Wärmepumpe länger in Betrieb bleibt, die Abkühlung verstärkt wird und somit die Effizienz der Anlage darunter leidet.

Da die Wärmepumpe jedoch einen konstanten Durchfluss benötigt, könnte die Anlage ohne den Zwischenkreislauf bzw. den Wärmetauscher gar nicht betrieben werden.

Unter diesen nicht gerade idealen Bedingungen ergibt sich trotzdem eine JAZ (WP) von 3.8.

## 12. EFFIZIENZ- UND WIRTSCHAFTLICHKEITSVERGLEICH

Im Folgenden wird ein Effizienz- und Wirtschaftlichkeitsvergleich der Anlage in Bremgarten mit einer Anlage in Sisseln vorgenommen (Beilage 19, 20).

### Effizienz

Bei der Anlage in Bremgarten benötigt man zur Förderung des durchschnittlichen jährlichen Wärmebedarfs von 100'000 kWh ein Stromverbrauch von 28'438 kWh (2. Jahr), während die Anlage in Sisseln bei gleichem Wärmebedarf 27'486 kWh (2. Jahr), also 952 kWh weniger Strom verbraucht.

Die ausgewiesene Differenz resultiert aus dem bei der Anlage in Bremgarten infolge des geringmächtigen und jahreszeitlich stark schwankenden Grundwasservorkommens notwendigen Zwischenkreislauf. Das Grundwassertemperaturniveau sinkt dabei trotz hoher Grundwassertemperaturen durch die grosse Wärmeentnahme (geringer Durchfluss) stark ab, so



dass der Stromaufwand höher wird und die Effizienz der Anlage darunter leidet (Beilagen 5 und 10).

### **Wirtschaftlichkeit**

Vergleicht man die beiden Anlagen hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit so lässt sich erkennen, dass unter der Annahme gleicher Investitionskosten die Anlage in Bremgarten im ersten Jahr Fr. 141.-- und im effizienteren zweiten Jahr Fr. 110.-- mehr Betriebskosten aufgewendet werden mussten. Wie schon bei der Effizienzermittlung erläutert, müssen diese Mehrkosten auf den Zwischenkreislauf zurückgeführt werden.

## **13. BETRIEBSERFAHRUNG**

In der Anfangsphase (2002 – 2003) lief die Grundwasserwärmepumpe-Anlage in Bremgarten störungsfrei. Im warmen und trockenen Sommer 2003 sank der Grundwasserspiegel jedoch starke ab. Infolge dieser knappen Wasserverhältnisse wurde viel Sand mit dem Grundwasser mitgefördert. Dieser Sand verstopfte den Filter vor dem Zwischenkreislauf und reduzierte die schon durch die prekären Grundwasserverhältnisse zu geringen Durchflusmengen vor dem Zwischenkreislauf noch mehr. Dies führte in der Folge zur vermehrten Akühlung im Zwischenkreislauf und anschliessend zu Betriebsstörungen. Mittels eines rückspülbaren Filters und einer stärkeren Grundwasserpumpe (ab November 2003) konnte die Anlage wieder einwandfrei betrieben werden. Der tiefe Grundwasserstand im Sommer 2003 setzte sich infolge ungenügender Niederschläge auch in den Winter 2003 / 2004 fort und erlaubte es nicht, die Förderrate vor dem Zwischenkreislauf optimal auf den Wärmepumpenbetrieb einzustellen.

## **14. SCHLUSSFOLGERUNGEN**

Die in diesem Forschungsprojekt ermittelten Daten lassen Folgendes erkennen:

- Die Effizienz der Grundwasser-Wärmepumpen-Anlage in Bremgarten ist stark von den Grundwassertemperaturen und den Grundwasserförderungsraten abhängig. Infolge der stark schwankenden Grundwasserförderungsraten ist ein Wärmetauscher mit Zwischenkreislauf in diesem System notwendig. Insgesamt kann mit diesen beschränkenden Faktoren eine JAZ (WP) von 3.8 erreicht werden.
- Im Vergleich mit der Grundwasser-Wärmepumpen-Anlage in Sisseln, welche bzgl. der Grundwasserförderungsraten keine einschränkenden Faktoren aufweist und somit auch keinen Wärmetauscher bzw. Zwischenkreislauf benötigt, schneidet die Anlage in Bremgarten, trotz zeitweise höherer Grundwassertemperaturen, schlechter ab. Die JAZ der Wärmepumpe in Sisseln beträgt 4, jene in Bremgarten nur 3.8. Die Effizienz der Anlage in Bremgarten ist dementsprechend tiefer. Hinsichtlich der Betriebskosten fallen in Bremgarten jährlich rund Fr. 110.-- an Mehrkosten an.
- Der durchschnittliche jahreszeitliche Verlauf der Grundwassertemperaturen in Bremgarten schwankt zwischen 9.5°C im Monat März bis April und 14.5°C im September bis Oktober. Hieraus resultiert eine maximale Temperaturschwankung von insgesamt 5°C.
- Durch die zunehmende Wärmeentnahme aus dem Grundwasser und dem entsprechend sinkenden Durchfluss im Primärkreislauf (Überforderung des Systems) sinkt die Temperatur im Zwischenkreislauf stetig. Dadurch reduziert sich im Endeffekt die erzielte Heizleistung. Bei normalem Wasserdurchfluss und zunehmender Wärmeentnahme aus dem



Primärkreislauf würde sich im Gegensatz zum vorliegenden System die Heizleistung ständig erhöhen.

- Die Wärmebilanzen beider Jahre zeigen auf, dass mit 28 bis 29% Stromzufuhr 71 bis 72% Wärme aus dem Grundwasser gezogen werden können. Dies bedeutet, dass mit leicht mehr als einem Viertel Stromzufuhr knapp  $\frac{3}{4}$  an Heizwärme mit diesem System gefördert werden können.

## GRUNDLAGEN / LITERATUR

- EBERHARD & Partner AG, Wasser-Wasser-Wärmepumpenanlage. Ausbau der bestehenden Anlage, Stadtkirche Bremgarten AG (Koordinaten: 668'115 / 244'940), Hydrogeologischer Bericht, Aarau, 26.9.2001
- Gesuch an das BFE Zweijährige Erfolgskontrolle (Messkampagne) der WP-Anlage „Pfarrhaus Bremgarten“ mit Verfügung des BFE vom 16. Oktober 2001.
- EBERHARD & Partner AG, Wärmepumpen-Anlage „Pfarrhaus Bremgarten“, zweijährige Erfolgskontrolle (Messkampagne), Aarau, Dezember 2002
- EBERHARD & Partner AG, Wärmepumpen-Anlage Feuerwehrmagazin und Wohnungen Sisseln, zweijährige Erfolgskontrolle (Messkampagne), Aarau, Mai 2004
- Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), Landeshydrologie, CH-3003 Bern-Ittigen Hydrologische Messdaten der Station: 018 Reuss - Mellingen

## ANHANG

Beilagen

Projektleitung: Dr. M. Eberhard

Aarau, 3. September 2004

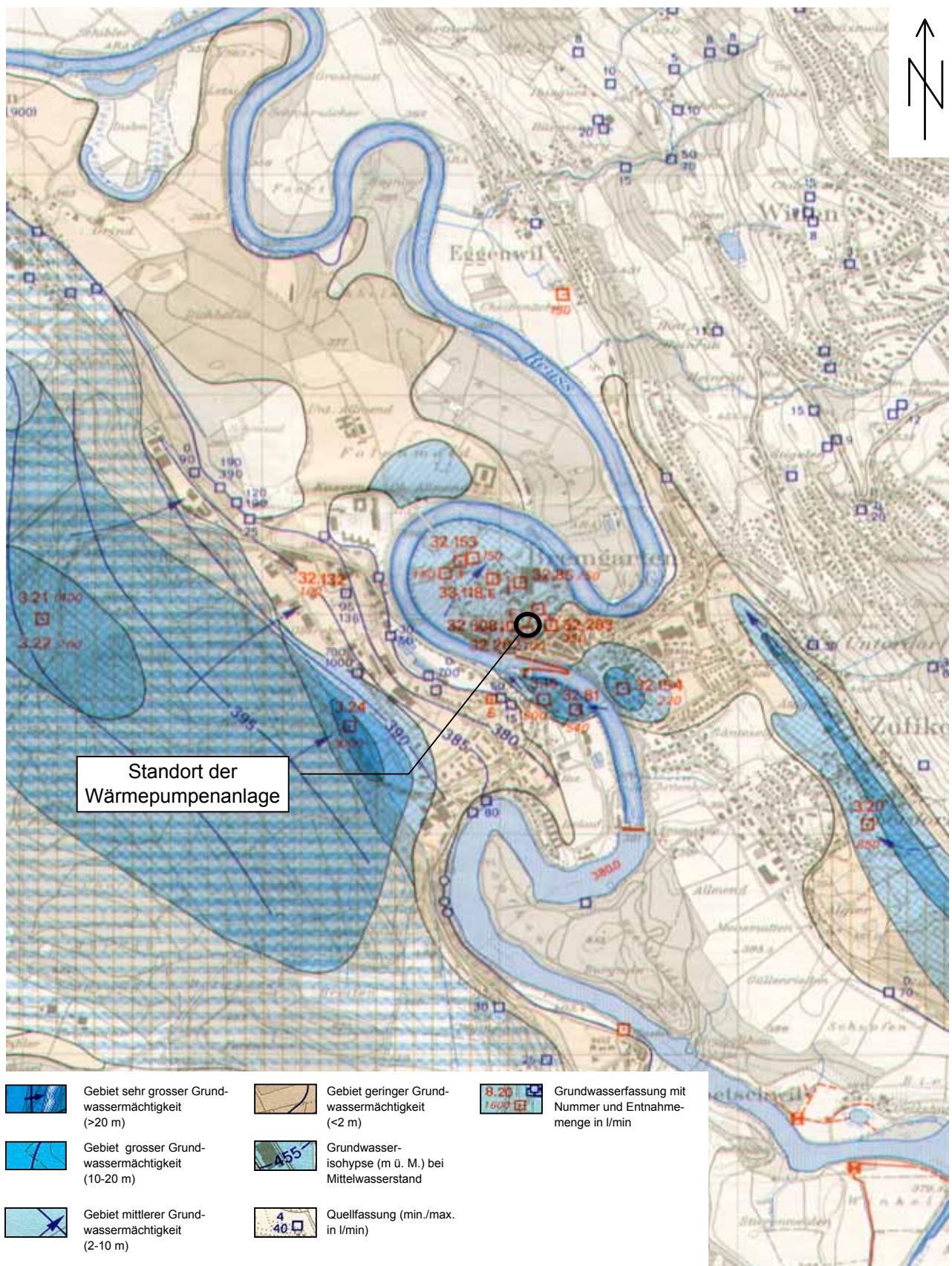
EBERHARD & Partner AG  
Geologie • Energie • Umwelt



## BEILAGEN

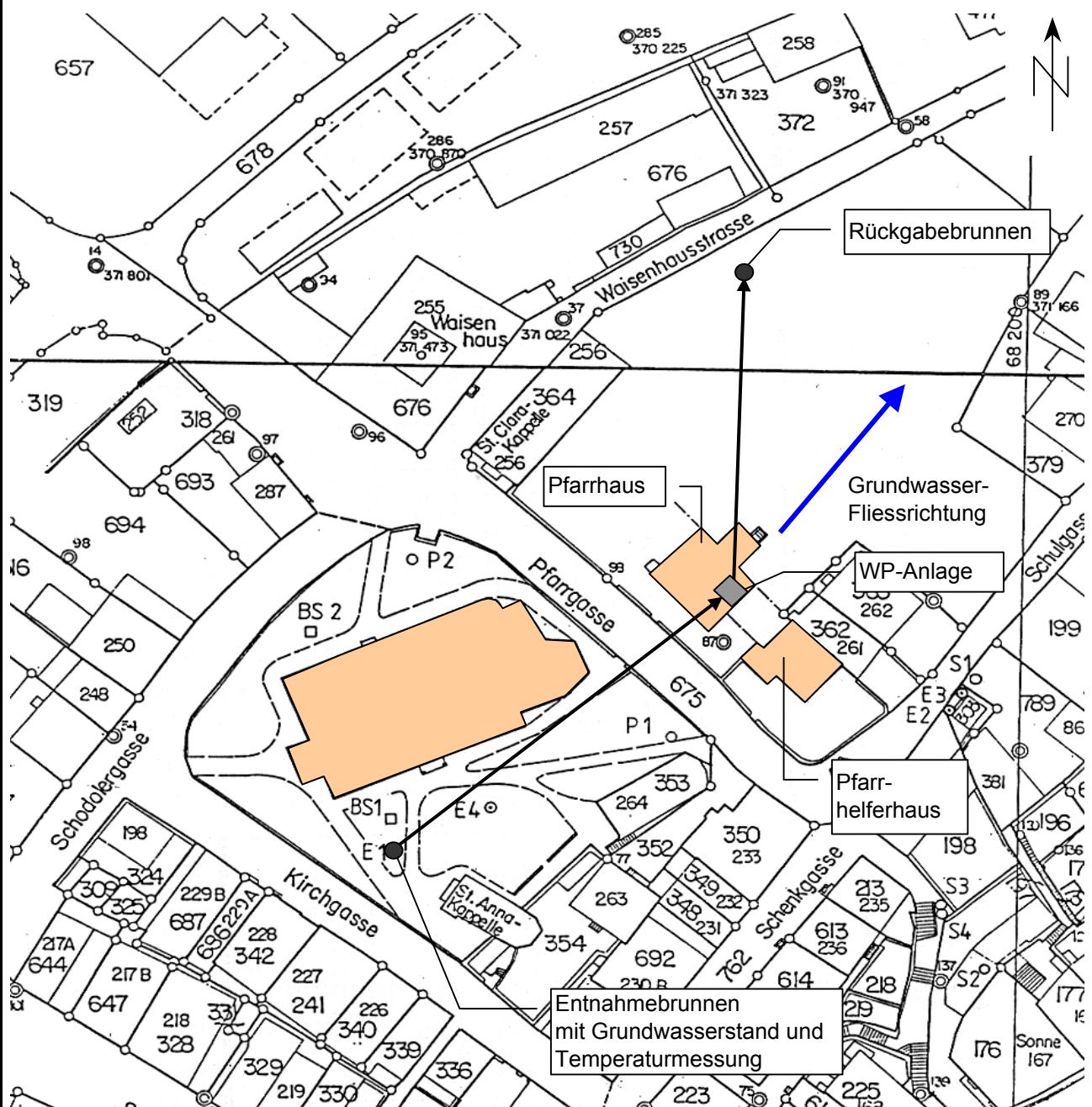
- 1 Ausschnitt aus der Grundwasserkarte des Kantons Aargau, Blatt Wohlen, Stand 1993, mit eingezeichnetem Standort der Anlage
- 2 Ausschnitt aus dem Kataster der Gemeinde Bremgarten mit eingezeichnetem Entnahm- und Rückgabebrunnen und dem Standort der Wärmepumpenanlage
- 3 Photodokumentation (Bohrung)
- 4 Photodokumentation (Lage)
- 5 Photodokumentation (WP-Anlage)
- 6 Prinzipschema Wärmeerzeugung mit integriertem Messsystem
- 7 Zusammengefasste Energie- und Leistungsdaten
- 8 Energiebilanz (2002)
- 9 Energiebilanz (2003)
- 10 Temperaturen und Wärmebilanz der Periode Mai 2002 bis November 2003
- 11 Energiebilanz
- 12 Aussentemperatur (Monats- und Tagesmittel)
- 13 Temperaturverhältnisse
- 14 Grundwasserverhältnisse
- 15 Vergleich Reusspegel, Grundwasserpegel und Niederschlagsmengen (Tagesmittel)
- 16 Vergleich Reusstemperatur, Grundwassertemperatur und Niederschlagsmengen (Tagesmittel)
- 17 Grundwassertemperatur, Temperaturdifferenz (Vor- und Rücklauf), Wärmenutzung, Stromverbrauch und Durchfluss
- 18 Vergleich der Grundwasser-, Rhein- und Reusstemperaturen
- 19 Vergleich von zwei Grundwasserwärmepumpen-Anlagen (Durch Vorfluter beeinflusstes und untiefes Grundwasser)
- 20 Effizienz und Wirtschaftlichkeitsanalyse
- 21 Leistungsaufnahme der Wärmepumpe und die JAZ bei unterschiedlichen Bedingungen
- 22 Leistungsdiagramme Vitocal 300 (zweistufig)

## Ausschnitt aus der Grundwasserkarte des Kantons Aargau, Blatt Wohlen, Stand 1993



A 385		Wärmepumpenanlage Pfarrhaus, Bremgarten	1 : 25'000	EBERHARD & Partner AG Geologie • Energie • Umwelt
17.06.2004				

Ausschnitt aus dem Kataster der Gemeinde Bremgarten  
mit eingezeichnetem Entnahme- und Rückgabebrunnen und dem Standort der Wärmepumpen-Anlage



Distanz Entnahmestelle bis WP-Anlage: 67 m

Distanz WP-Anlage bis Rückgabebrunnen: 50 m



## Beheizte Gebäude

## Photodokumentation



Bohrung für den Entnahmestollen im SW des Geländes

Lithologie	Einbau	Wasser-spiegel	m	Geotechnische Beschreibung des Bohrgutes	Geologische Interpretation
	Rohr 6"		1.0	Schacht	
			2.0	Beton	
		max. 3.17 m URT min. 3.54 m URT	3.0	Siltiger Kies, hellgrau, mit Kieskomp. bis 12 cm Ø, durchschnittlich 2 - 4 cm Ø	Schotter
			4.0	Leicht siltiger bis sandiger Kies, hellbraun, Kieskomp. 2 - 4 cm Ø Leicht siltiger bis sandiger Kies, hellbraun, Kieskomp. bis 12 cm Ø	
			5.0	Sandiger Kies, hellgrau, Kieskomp. 1 - 3 cm Ø Stark toniger Kies, hellbraun, Kieskomp. bis 8 cm Ø Toniger Silt mit kleinen Kieskomp. bis 1 cm Ø im oberen Abschnitt (bis 5 m) hellbraun im unteren Abschnitt hell- bis dunkelgrau	Grundmoräne
	Schammsack		5.0		Seeton

Bohrprofil und Aufbau des Grundwaserentnahmestollens

## Photodokumentation

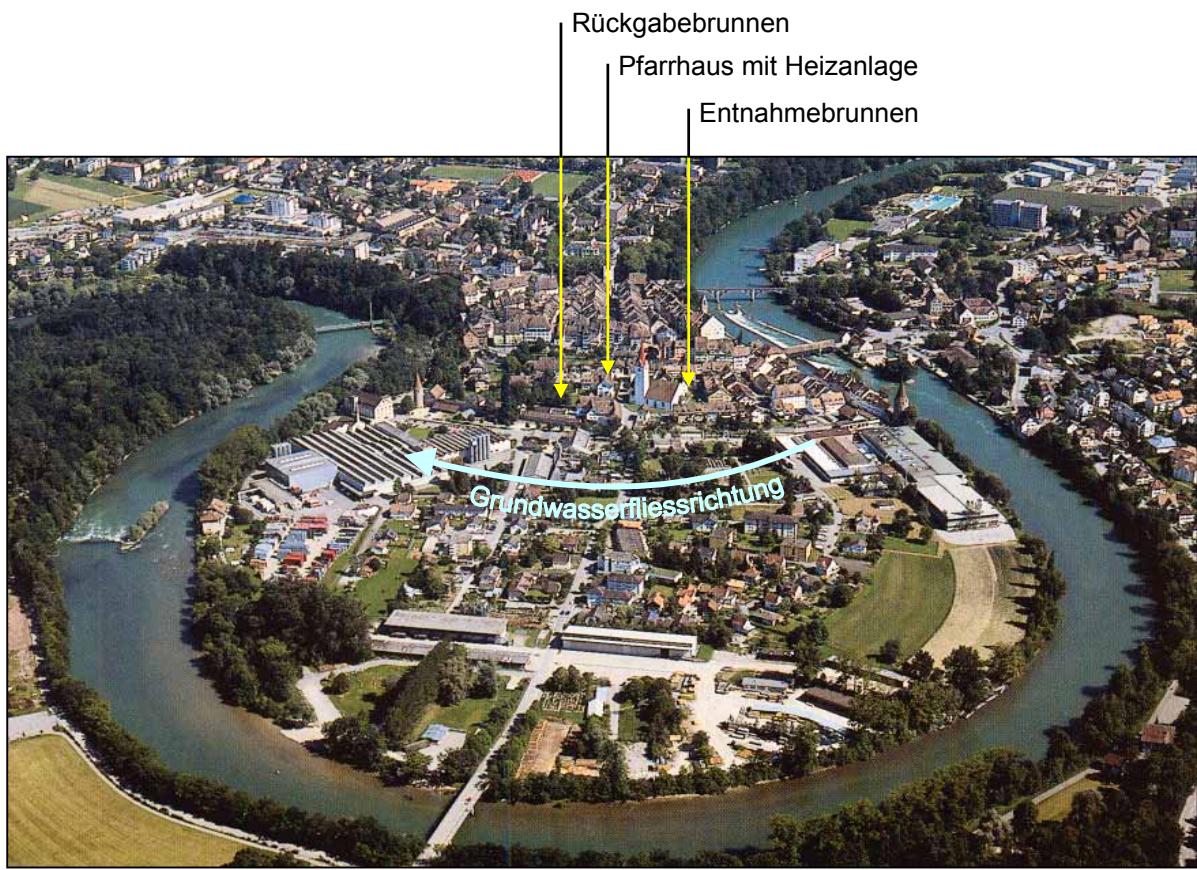


Foto: Oekovision, Widen

Bremgarten in Blickrichtung Südost



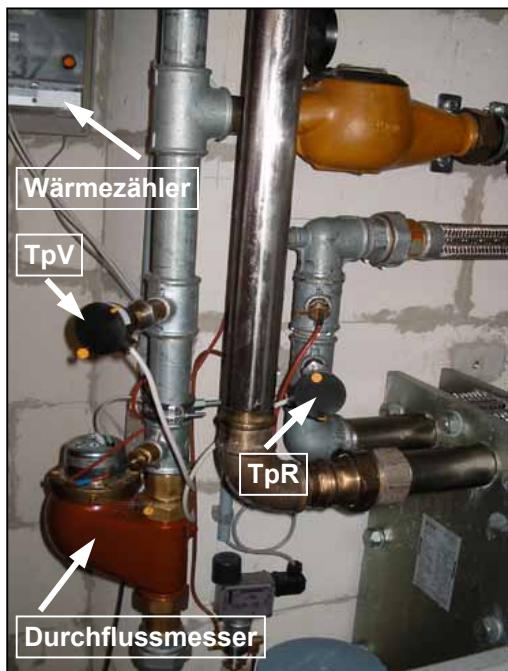
Foto: E &amp; P



Blick auf das Pfarrhaus

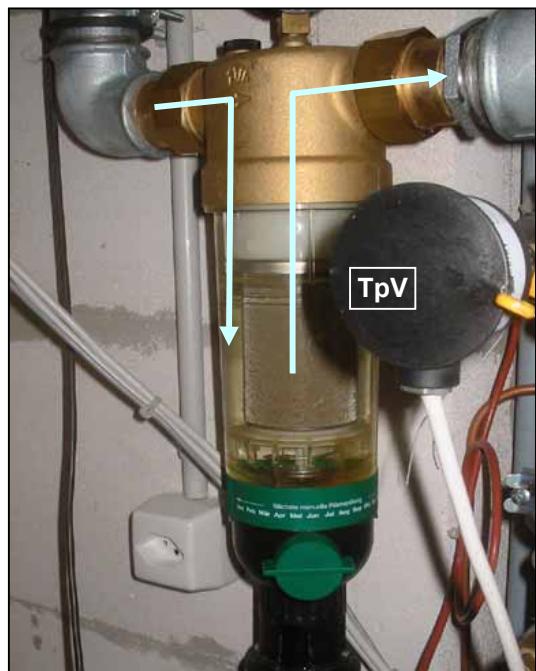
Blick auf die kath. Kirche

## Photodokumentation



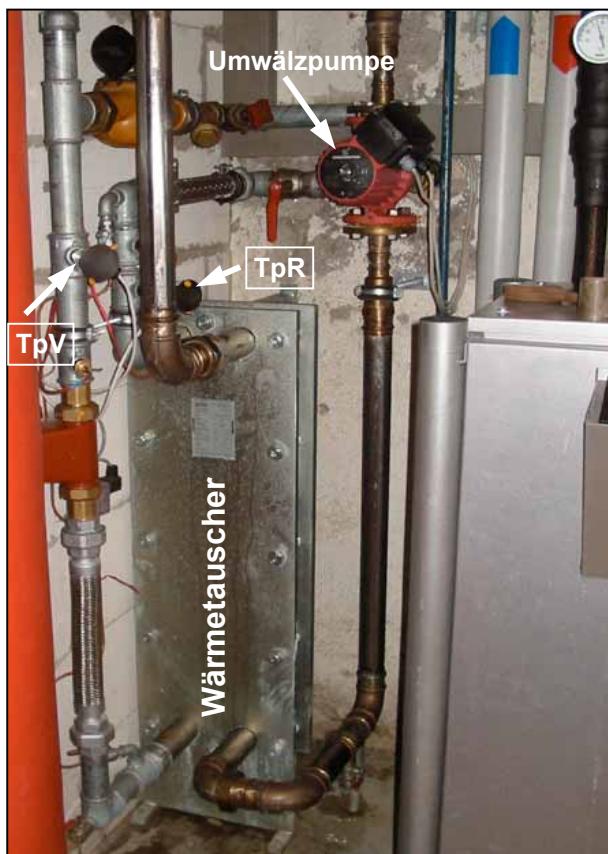
Wärmezählung primärseitig

Foto: E &amp; P



Automatischer rückspülbarer Sandfilter, der nachträglich eingebaut wurde.

Foto: E &amp; P



Heizraum mit Wärmepumpe und -tauscher

WP = Wärmepumpe, pV = primär Vorlauf, pR = primär Rücklauf, sV = sekundär Vorlauf, sR = sekundär Rücklauf,  
 T = Temperaturfühler

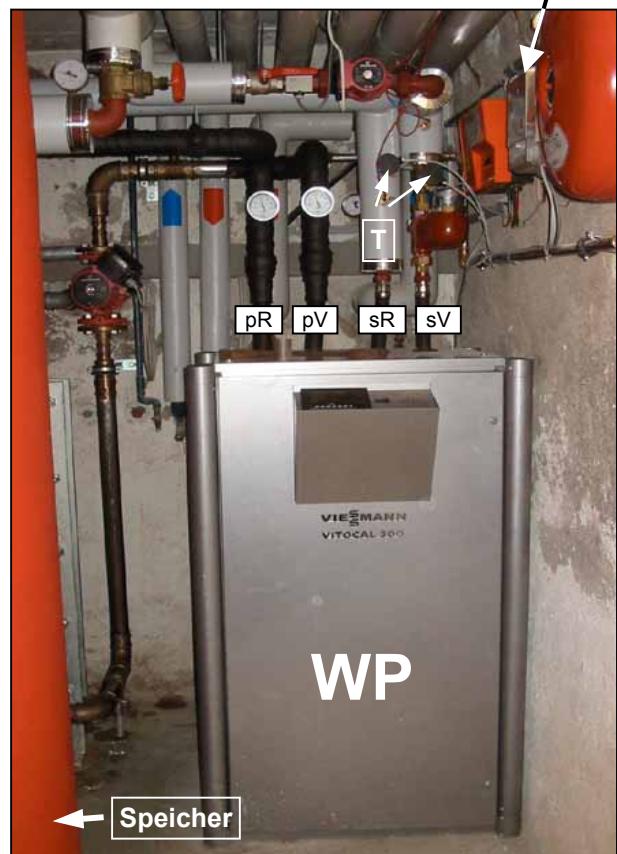


Foto: E &amp; P

## Prinzipschema Wärmeerzeugung mit integriertem Messsystem

Aarau, 17.06.2004

A 385

.2004

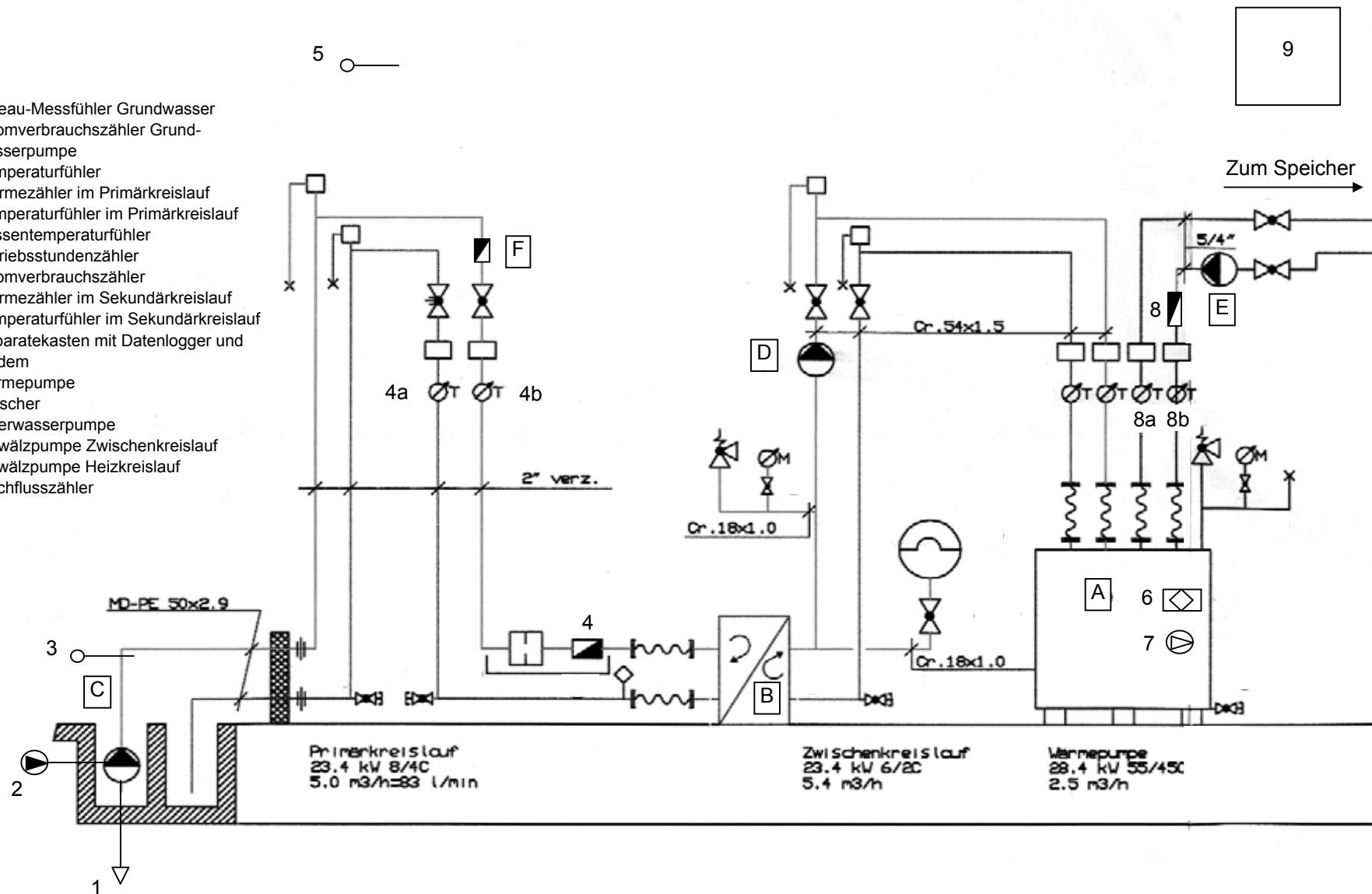


## Wärmepumpenanlage Pfarrhaus, Bremgarten

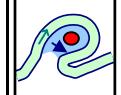
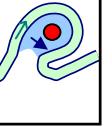
EBERHARD & Partner AG  
Geologie • Energie • Umwelt

### Legende:

- 1 Niveau-Messfühler Grundwasser
  - 2 Stromverbrauchszähler Grundwasserpumpe
  - 3 Temperaturfühler
  - 4 Wärmezähler im Primärkreislauf
  - 4a/b Temperaturfühler im Primärkreislauf
  - 5 Außentemperaturfühler
  - 6 Betriebsstundenzähler
  - 7 Stromverbrauchszähler
  - 8 Wärmezähler im Sekundärkreislauf
  - 8a/b Temperaturfühler im Sekundärkreislauf
  - 9 Apparatekasten mit Datenlogger und Modem
  - A Wärmepumpe
  - B Tauscher
  - C Unterwasserpumpe
  - D Umwälzpumpe Zwischenkreislauf
  - E Umwälzpumpe Heizkreislauf
  - F Durchflusszähler



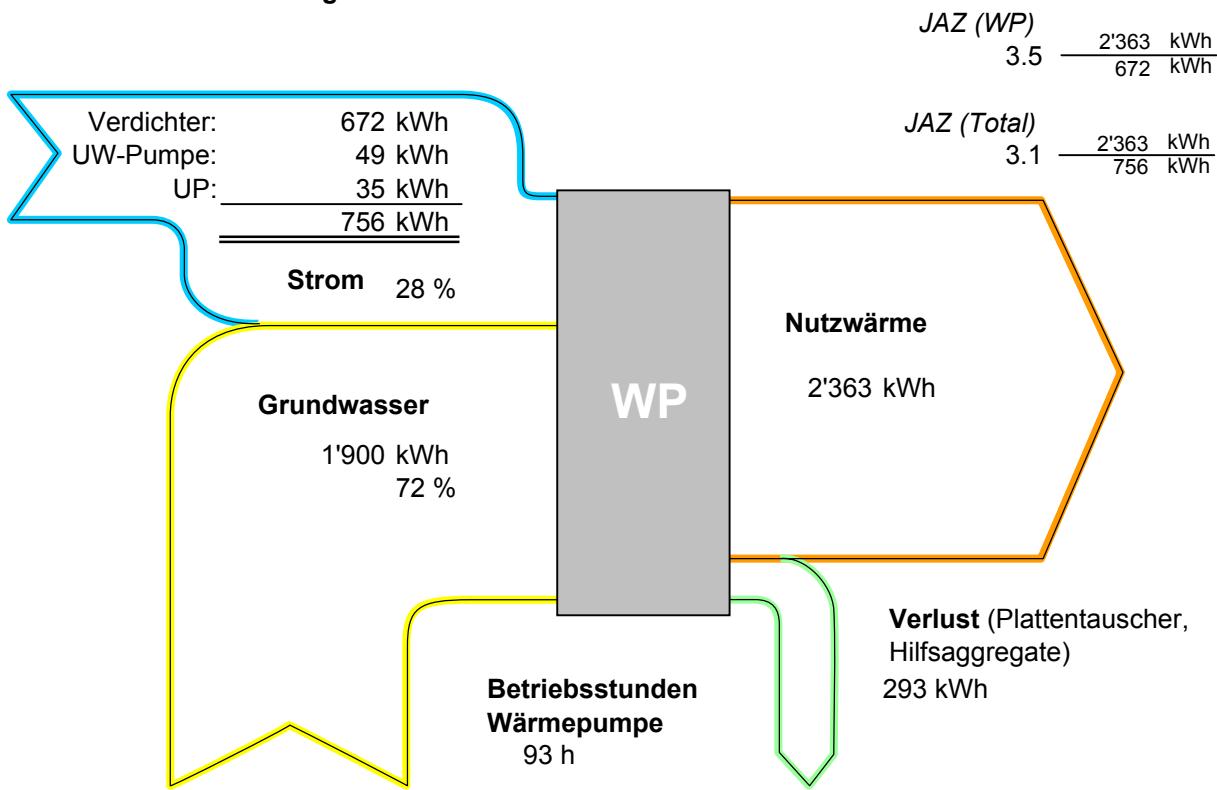
## Zusammengefasste Energie- und Leistungsdaten

Aarau, 17.06.2004	A 387	 	Zusammengefasste Energie- und Leistungsdaten												
			Monat	Wärme- entzug	Strom				Strom total	Heiz- wärme	Verlust Zusatzaggregate	JAZ		Betriebsstunden	
					Verdichter	UWP	UPz	UPs				WP	WPA	WP	UWP
				gemessen kWh	gemessen kWh	gemessen kWh	berechnet kWh	berechnet kWh	Σ kWh	gemessen kWh	kWh			gemessen h	gemessen h
			April 02	716	243	30	9	5	287	955	48	3.9	3.3	36	65
			Mai 02	2'706	895	139	18	11	1'063	3'582	187	4.0	3.4	75	199
			Juni 02	779	290	22	11	6	329	1'039	69	3.6	3.2	45	47
			Juli 02	305	105	8	3	2	117	384	38	3.7	3.3	11	16
			August 02	816	277	19	9	5	310	940	186	3.4	3.0	37	39
			September 02	3'135	1'041	75	37.9	22.1	1'176	3'911	400	3.8	3.3	158	163
			Oktober 02	7'236	2'400	158	91.4	53.3	2'703	9'243	696	3.9	3.4	381	384
			November 02	11'131	3'734	202	144.2	84.1	4'164	14'251	1'044	3.8	3.4	601	615
			Dezember 02	11'961	4'540	236	167.5	97.7	5'041	16'094	908	3.5	3.2	698	709
			Januar 03	9'099	3'543	183	130.1	75.9	3'932	12'132	899	3.4	3.1	542	542
			Februar 03	5'413	2'285	109	79.2	46.2	2'519	7'324	608	3.2	2.9	330	334
			März 03	7'236	2'768	198	141.8	82.7	3'191	9'648	779	3.5	3.0	591	604
			April 03	5'327	1'954	130	90.2	52.6	2'227	7'103	451	3.6	3.2	376	385
			Mai 03	2'693	857	50	30.0	17.5	955	3'421	227	4.0	3.6	125	129
			Juni 03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			Juli 03	220	70	4	3	2	78	275	23	3.9	3.5	11	13
			August 03	100	37	1	1	1	40	133	7	3.6	3.3	5	5
			September 03	2'157	717	40	26	15	799	2'756	200	3.8	3.5	110	113
			Oktober 03	8'246	2'673	181	129	75	3'058	10'529	775	3.9	3.4	538	543
			November 03	10'593	3'523	239	152	89	4'003	13'591	1'005	3.9	3.4	635	690
			Dezember 03	14'099	4'588	458	156	91	5'293	18'024	1'368	3.9	3.4	651	651
			Januar 04	13'848	4'641	485	158	92	5'376	17'899	1'325	3.9	3.3	658	660
			Februar 04	6'206	2'183	200	74	43	2'501	8'056	651	3.7	3.2	310	310
			März 04	11'466	4'196	390	145	85	4'816	15'159	1'123	3.6	3.1	605	608
			April 04	7'248	2'378	268	85	50	2'781	9'489	540	4.0	3.4	356	361
			Mai 04	4'001	1'318	164	46	27	1'555	5'201	355	3.9	3.3	191	195
			Jun 02 - Aug 02	1'900	672	49	22	13	756	2'363	293	3.5	3.1	93	102
			Sep 02 - Mai 03	63'231	23'122	1'341	912	532	25'908	83'127	6'012	3.6	3.2	3'802	3'865
			Jun 03 - Aug 03	320	107	5	4	2	118	408	30	3.8	3.5	16	18
			Sep 03 - Mai 04	77'864	26'217	2'425	973	568	30'183	100'704	7'343	3.8	3.3	4'054	4'131
			Jun 02 - Mai 03	65'131	23'794	1'390	935	545	26'664	85'490	6'305	3.6	3.2	3'895	3'967
			Jun 03 - Mai 04	78'184	26'324	2'430	977	570	30'301	101'112	7'373	3.8	3.3	4'070	4'149
			Mai 02 - Mai 04	146'737	51'256	3'989	1'938	1'131	58'314	191'139	13'912	3.7	3.3	8'076	8'380

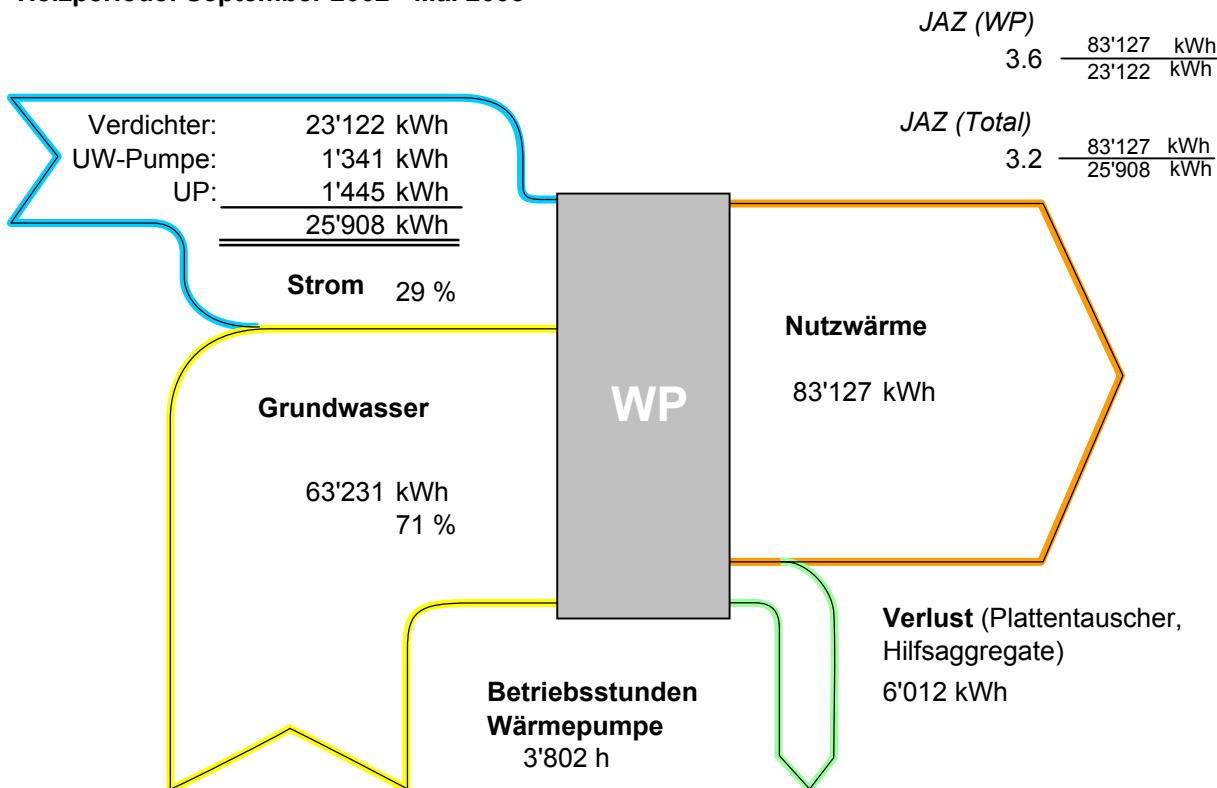
UPz = Umwälzpumpe im Zwischenkreislauf, UPs = Umwälzpumpe im Sekundärkreislauf bis Speicher, UWP = Unterwasserpumpe, WP = Wärmeleitung, WPA = Wärmeleitungssymbol

## Energiebilanz

## Sommer: Juni 2002 - August 2002



## Heizperiode: September 2002 - Mai 2003

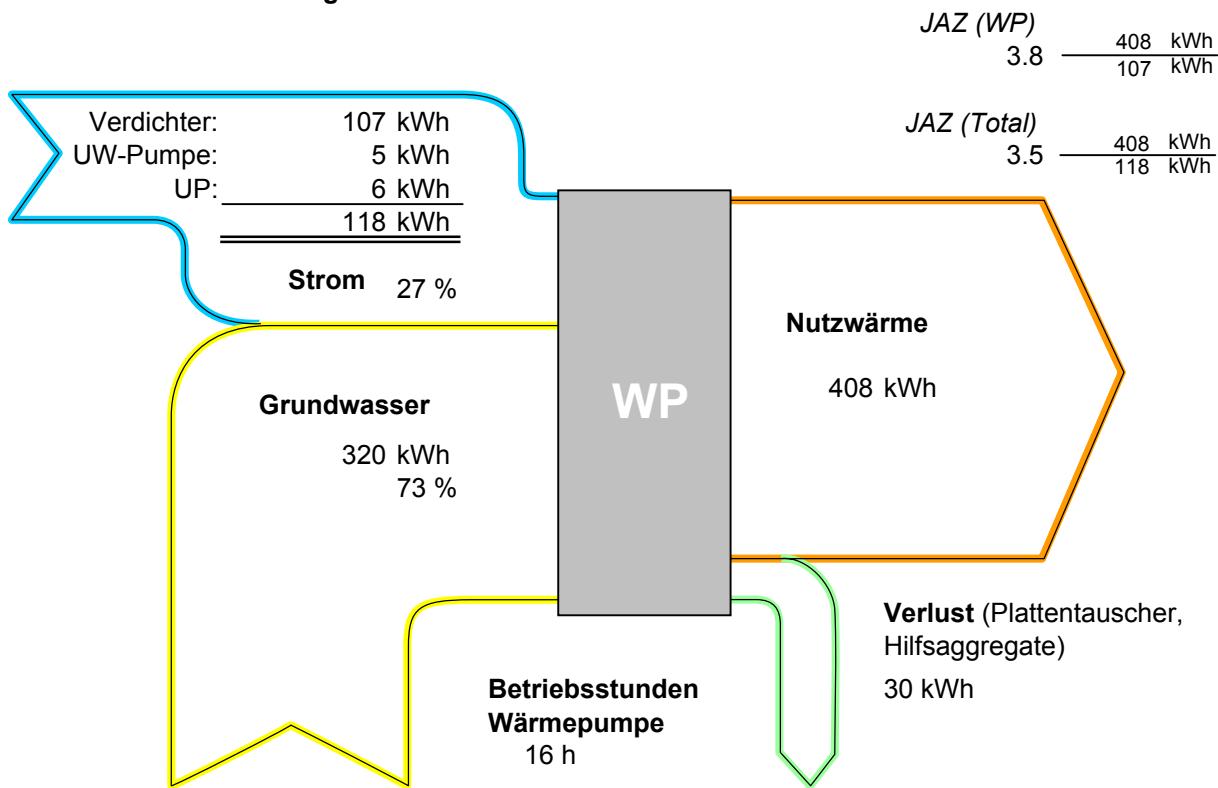


JAZ = Jahres-Arbeitszahl, UP = Umwälzpumpe, UW = Unterwasser, WP = Wärmepumpe

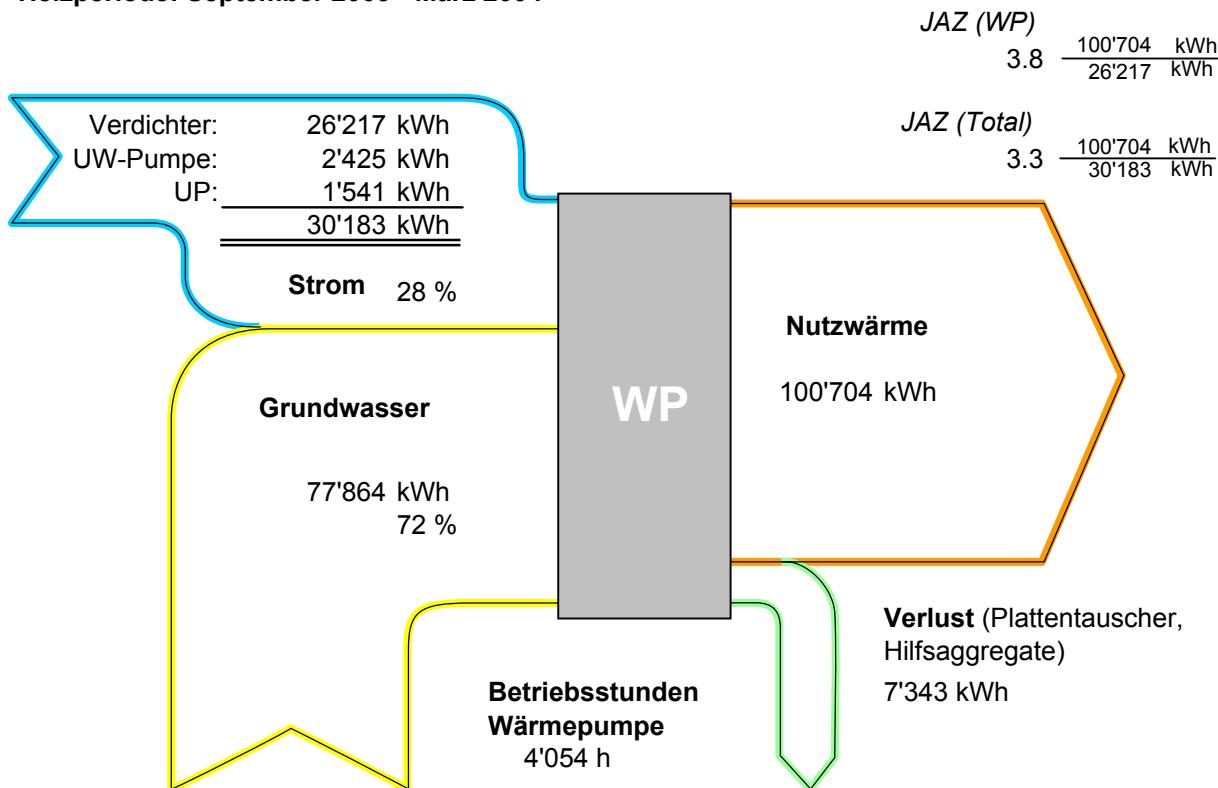
A 385		Wärmepumpenanlage Pfarrhaus, Bremgarten	EBERHARD & Partner AG Geologie • Energie • Umwelt
Aarau, 01.09.2004			

## Energiebilanz

## Sommer: Juni 2003 - August 2003



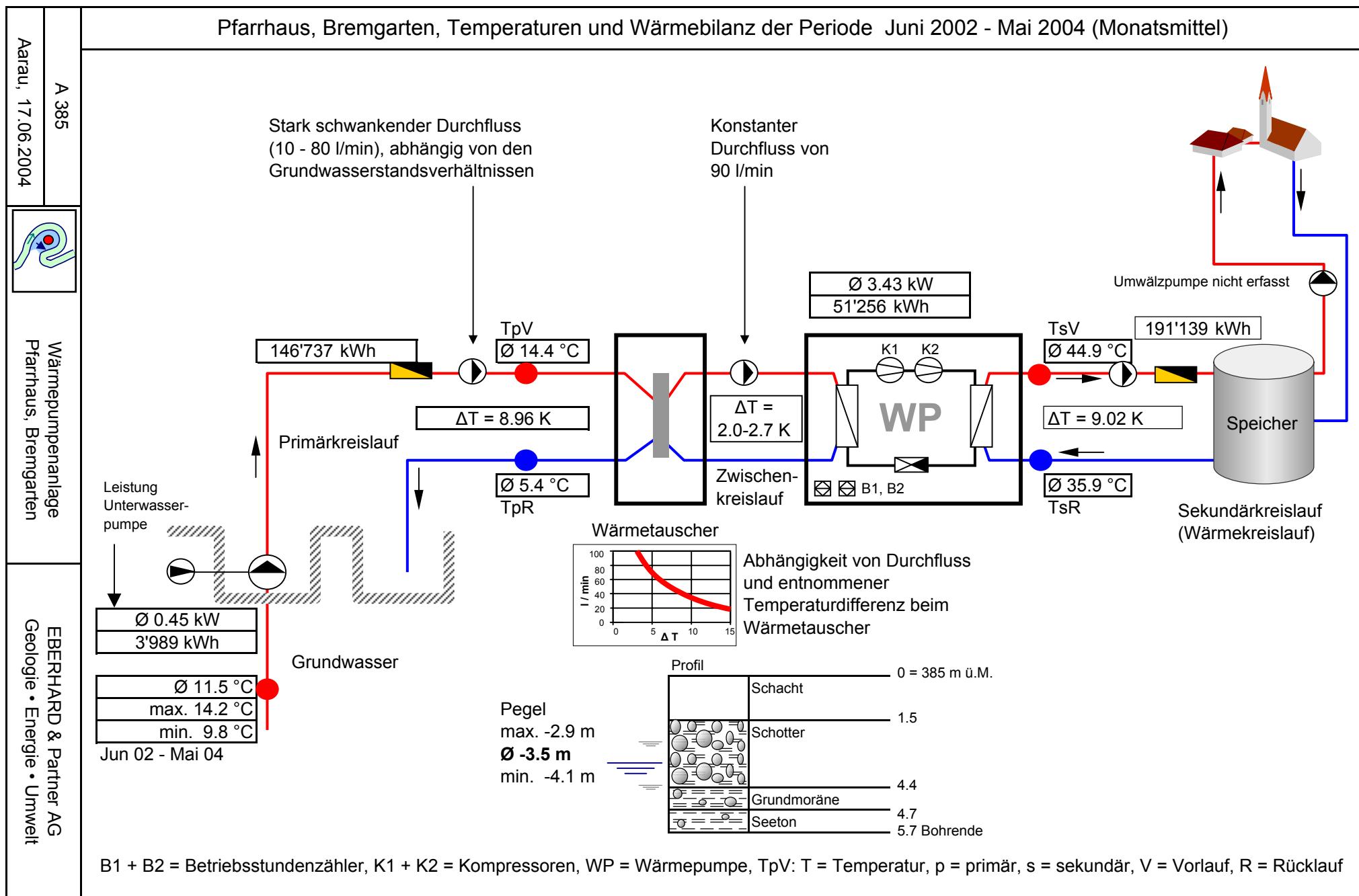
## Heizperiode: September 2003 - März 2004

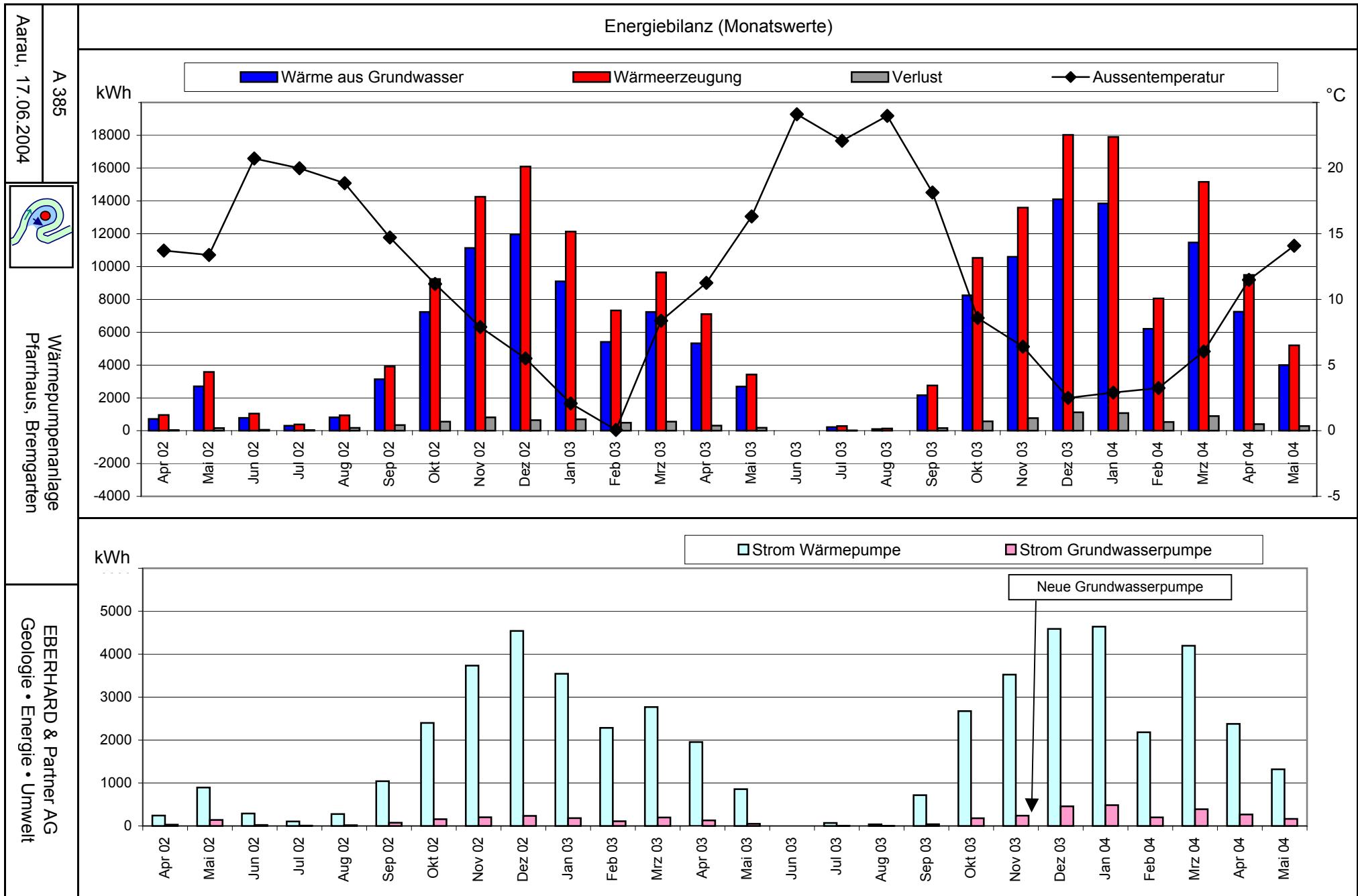


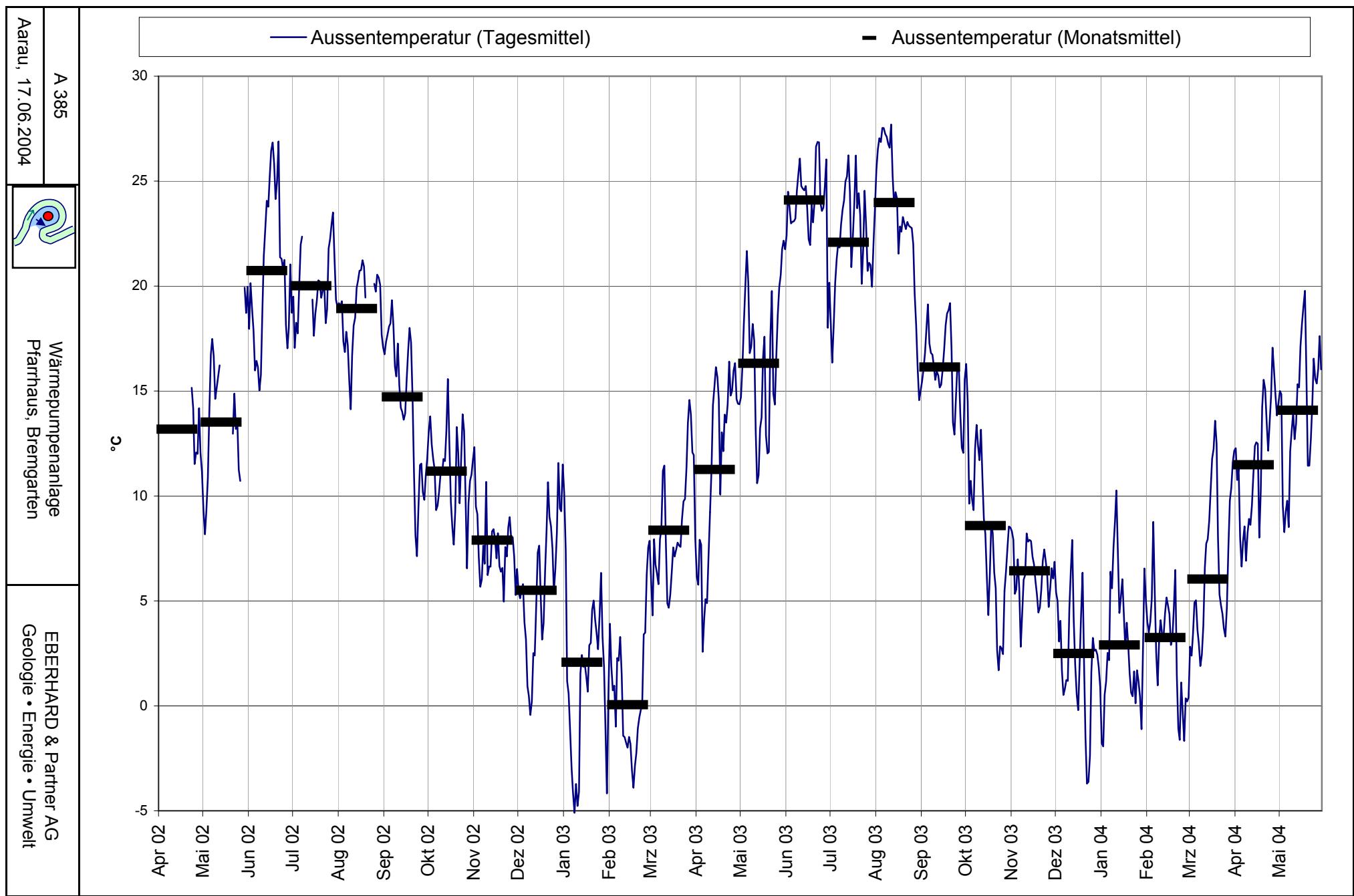
JAZ = Jahres-Arbeitszahl, UP = Umwälzpumpe, UW = Unterwasser, WP = Wärmepumpe

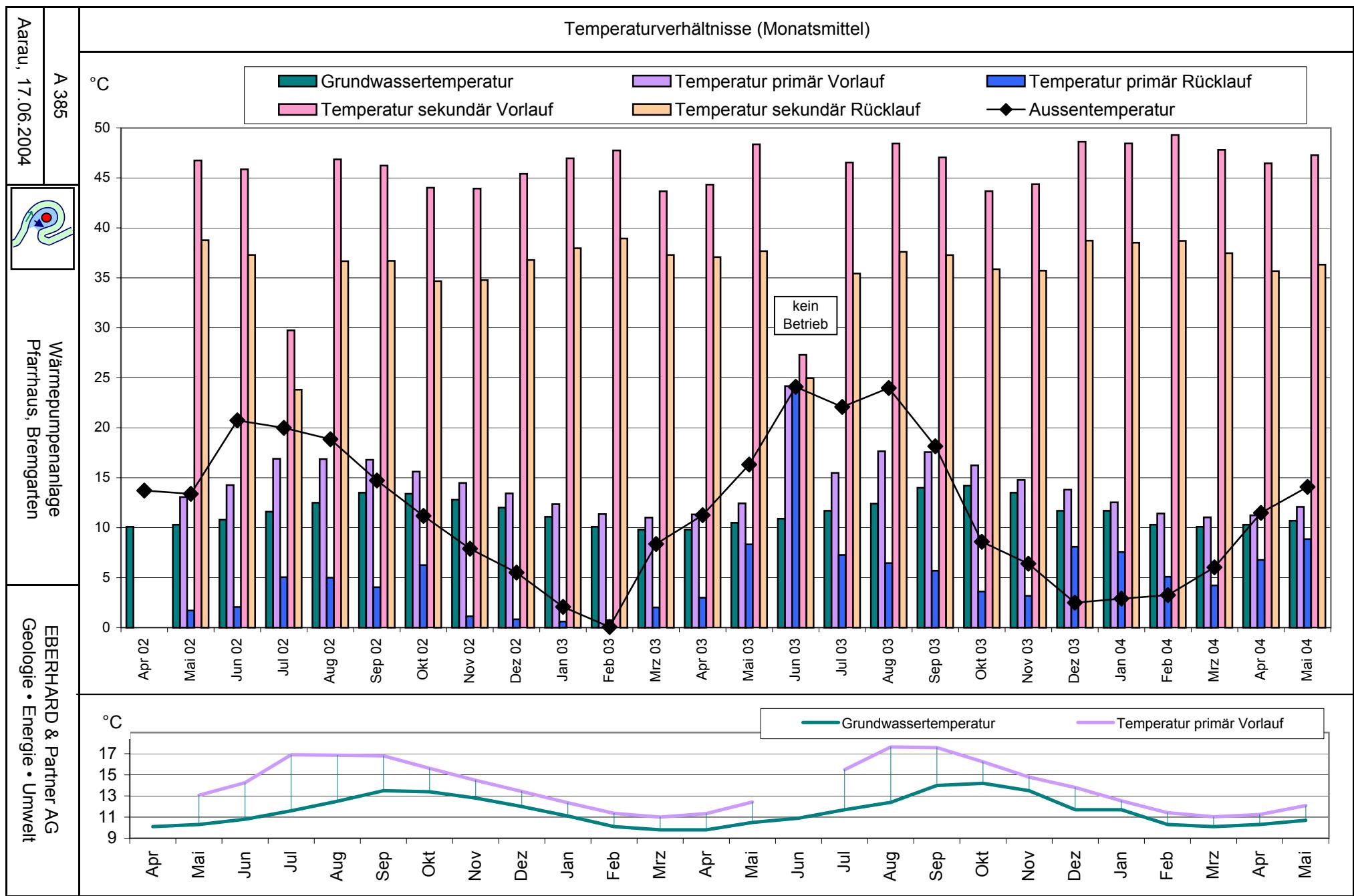
A 385		Wärmepumpenanlage Pfarrhaus, Bremgarten	EBERHARD & Partner AG Geologie • Energie • Umwelt
Aarau, 01.09.2004			

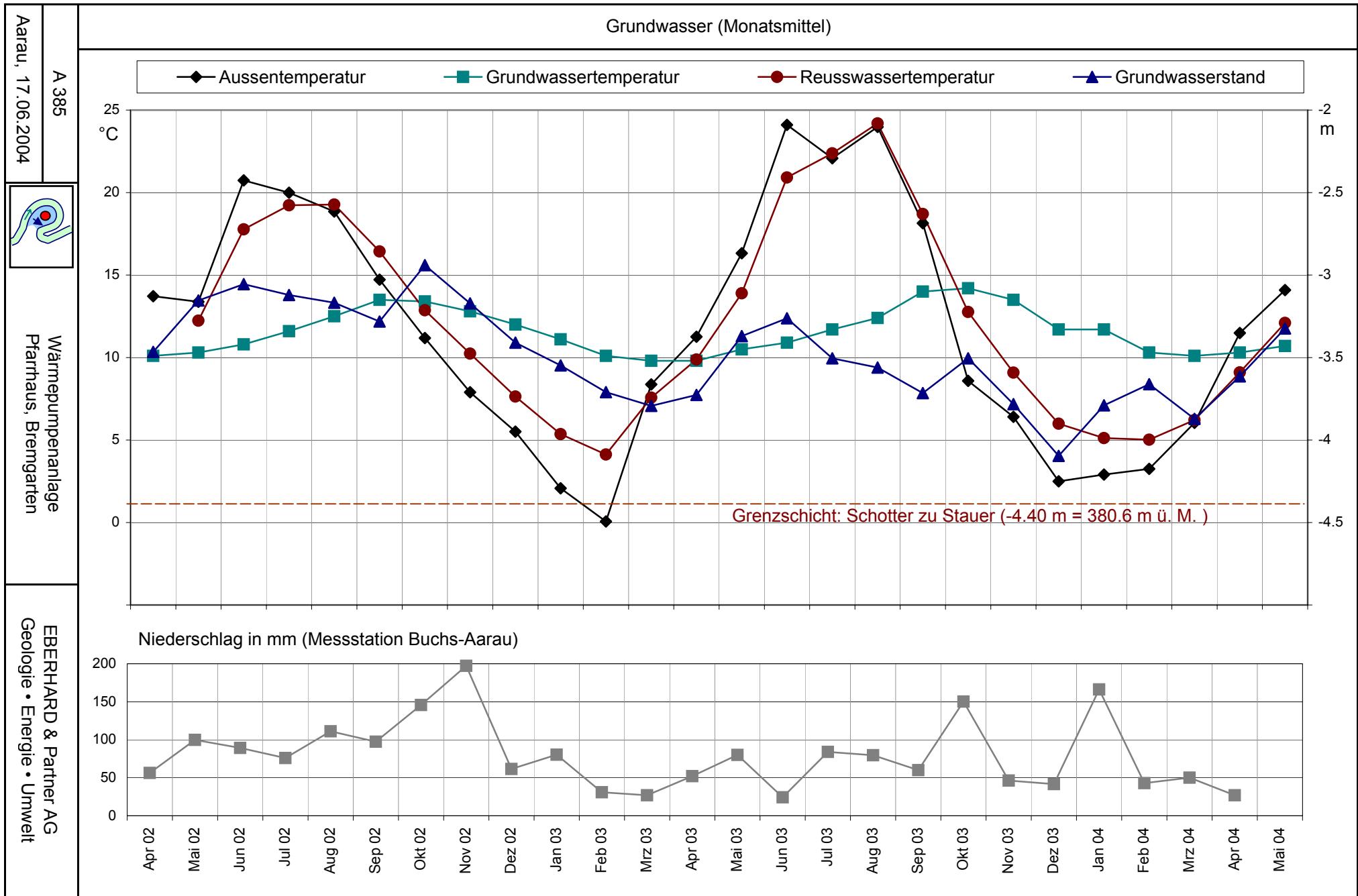
Pfarrhaus, Bremgarten, Temperaturen und Wärmebilanz der Periode Juni 2002 - Mai 2004 (Monatsmittel)



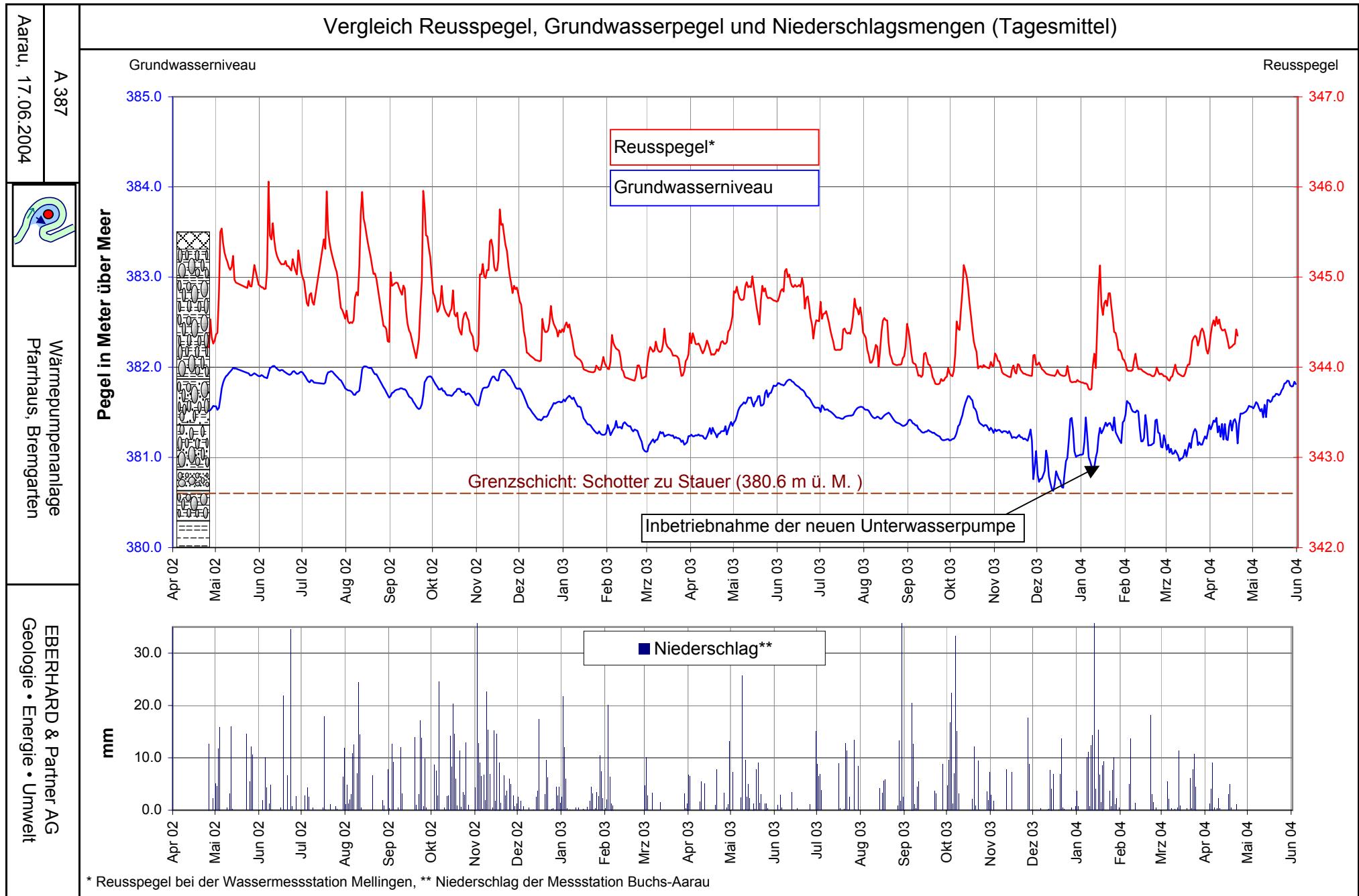


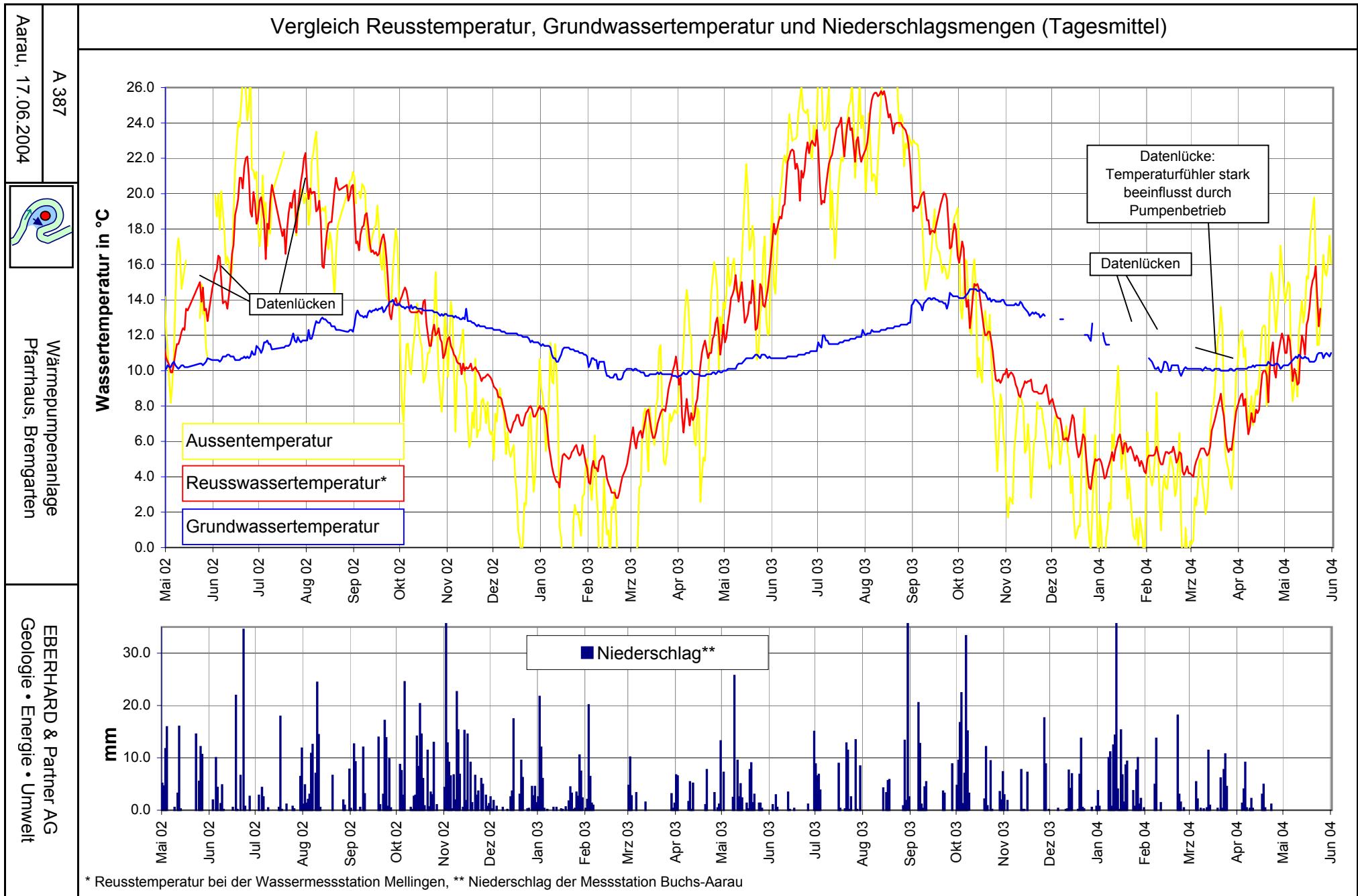


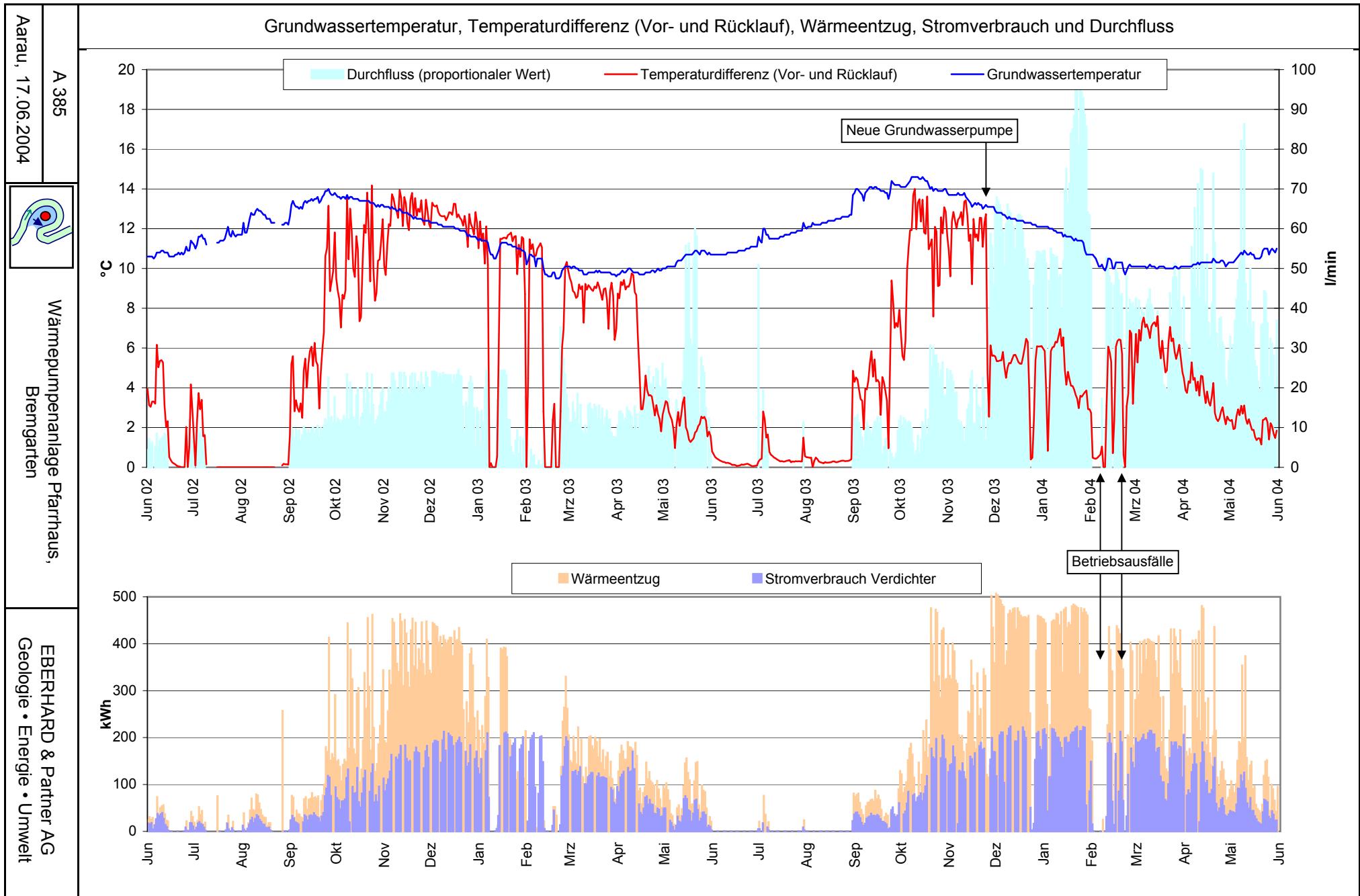




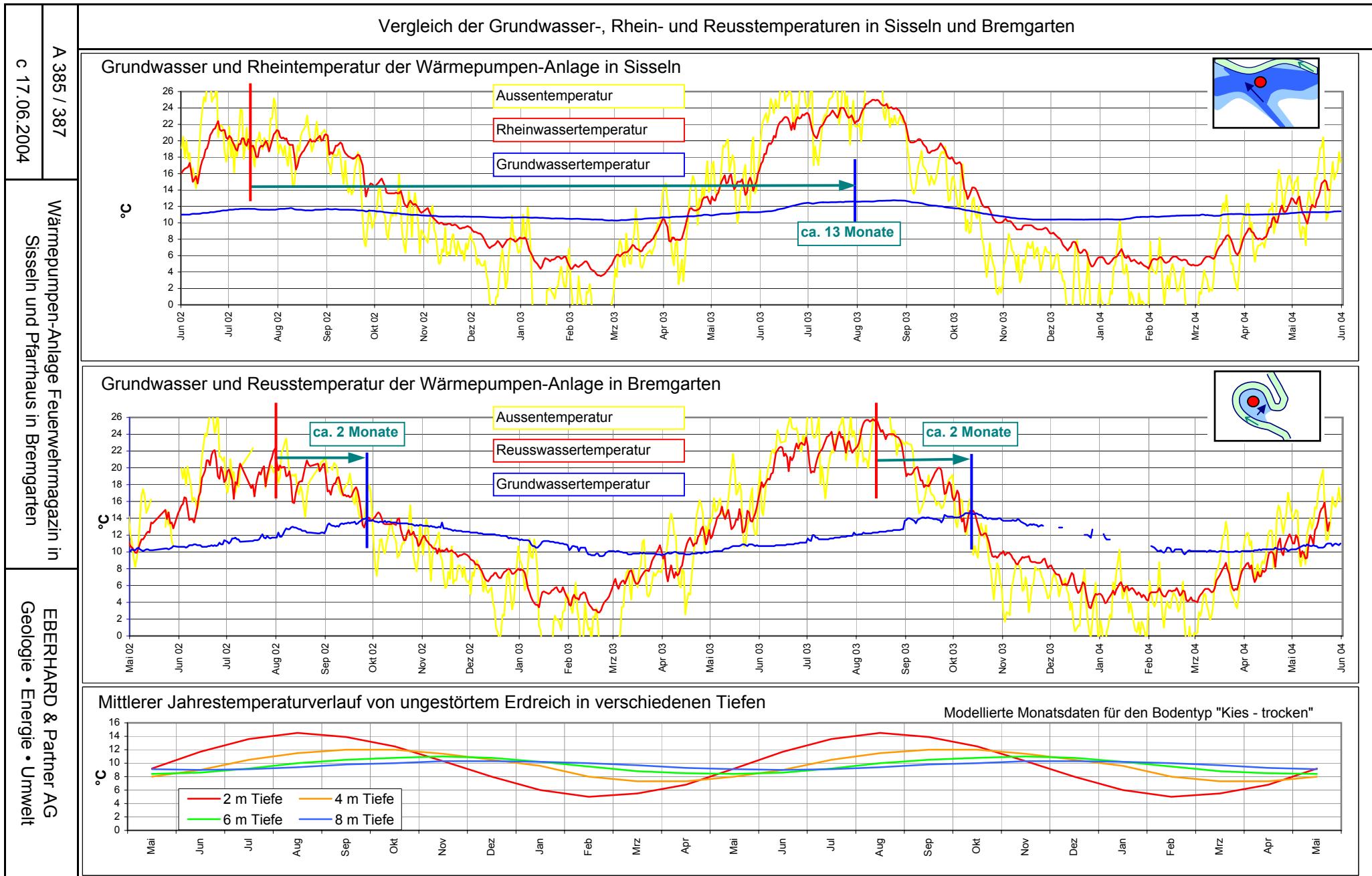
## Vergleich Reusspegel, Grundwasserniveau und Niederschlagsmengen (Tagesmittel)



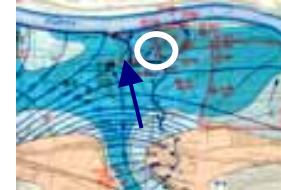




## Vergleich der Grundwasser-, Rhein- und Reusstemperaturen in Sisseln und Bremgarten



## Effizienzermittlung und -vergleich

		Untiefes Grundwasser				Durch den Vorfluter beeinflusstes Grundwasser					
		Sisseln		Bremgarten							
A 385 / 387											
Aarau 17.06.2004		Grundwassermächtigkeit	10.0 m			1.1 m					
		Förderdistanz des Grundwassers	12 m Höhe			67 m Horizontaldistanz					
		Wärmepumpe: Hersteller, Typ	Stiega-Therm AG, GWZ 20.1			Viessmann, Vitocal 300					
		Wärmepumpe (Heizleistung, 0°C/353°C)	21.5 kW			28.4 kW					
		Vorgeschalteter Wärmeplattentauscher	nein			ja					
		Leistungsaufnahme der GW-Pumpe	690 W			370 W*					
			S1	HP1	S2	HP2	S1	HP1	S2	HP2	
		Grundwassertemperatur	Ø	11.5 °C	10.8 °C	12.3 °C	11.0 °C	11.6 °C	11.5 °C	11.7 °C	11.8 °C
			max	11.8 °C	11.7 °C	12.8 °C	12.6 °C	13.0 °C	14.0 °C	13.7 °C	14.6 °C
			min	11.0 °C	10.3 °C	11.3 °C	10.4 °C	10.5 °C	9.5 °C	10.7 °C	9.7 °C
		Temperaturschwankung	Δ	0.8 K	1.4 K	1.4 K	2.3 K	2.5 K	4.5 K	3.0 K	4.9 K
		Grundwasserstand	Ø	-3.02 m UKT	-2.92 m UKT	-2.99 m UKT	-3.01 m UKT	-3.11 m UKT	-3.48 m UKT	-3.44 m UKT	-3.72 m UKT
			max **	-2.95 m UKT	-2.75 m UKT	-2.91 m UKT	-2.88 m UKT	-2.99 m UKT	-3.03 m UKT	-3.14 m UKT	-3.15 m UKT
			min ***	-3.09 m UKT	-3.05 m UKT	-3.10 m UKT	-3.15 m UKT	-3.34 m UKT	-3.94 m UKT	-3.65 m UKT	-4.37 m UKT
		Pegelschwankung	Δ ****	0.14 m	0.30 m	0.19 m	0.27 m	0.35 m	0.91 m	0.51 m	1.22 m
		Wärmeentzug aus dem Grundwasser	Qp	898 kWh	35'201 kWh	717 kWh	38'351 kWh	1'900 kWh	63'231 kWh	320 kWh	77'864 kWh
		Betriebsstunden der WP	h	56 h	2'225 h	49 h	2'345 h	93 h	3'802 h	16 h	4'054 h
		Leistung des Verdichters	= Qp / h	16.0 kW	15.8 kW	14.6 kW	16.4 kW	20.4 kW	16.6 kW	20.0 kW	19.2 kW
		Stromverbrauch Wärmepumpe	E <sub>WP</sub>	289 kWh	11'533 kWh	271 kWh	12'215 kWh	672 kWh	23'122 kWh	107 kWh	26'217 kWh
		Stromverbrauch der GW-Pumpe	E <sub>GWP</sub>	46 kWh	1'395 kWh	39 kWh	1'508 kWh	49 kWh	1'341 kWh	5 kWh	2'425 kWh
		Stromverbrauch (WP und GWP)	E = E <sub>WP</sub> + E <sub>GWP</sub>	335 kWh	12'928 kWh	310 kWh	13'723 kWh	721 kWh	24'463 kWh	112 kWh	28'642 kWh
		Heizwärme	Qs	1'153 kWh	45'815 kWh	943 kWh	50'112 kWh	2'363 kWh	83'127 kWh	408 kWh	100'704 kWh
		Stromverbrauch pro 1 MWh Heizwärme	= Qs / E	344 kWh	354 kWh	304 kWh	365 kWh	328 kWh	340 kWh	364 kWh	352 kWh
		JAZ (WP)		4.0	4.0	3.5	4.1	3.5	3.6	3.8	3.8

S1: Sommer 02 (Jun - Aug), HP1: Heizperiode 02/03 (Sep 02 - Mai 03), S2: Sommer 03 (Jun - Aug), HP2: Heizperiode 03/04 (Sep 03 - Mai 04)

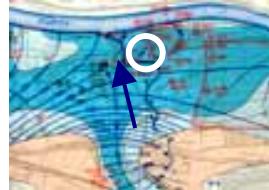
GW = Grundwasser, GWP = Grundwasserpumpe, UKT = Unterkante Terrain, WP = Wärmepumpe

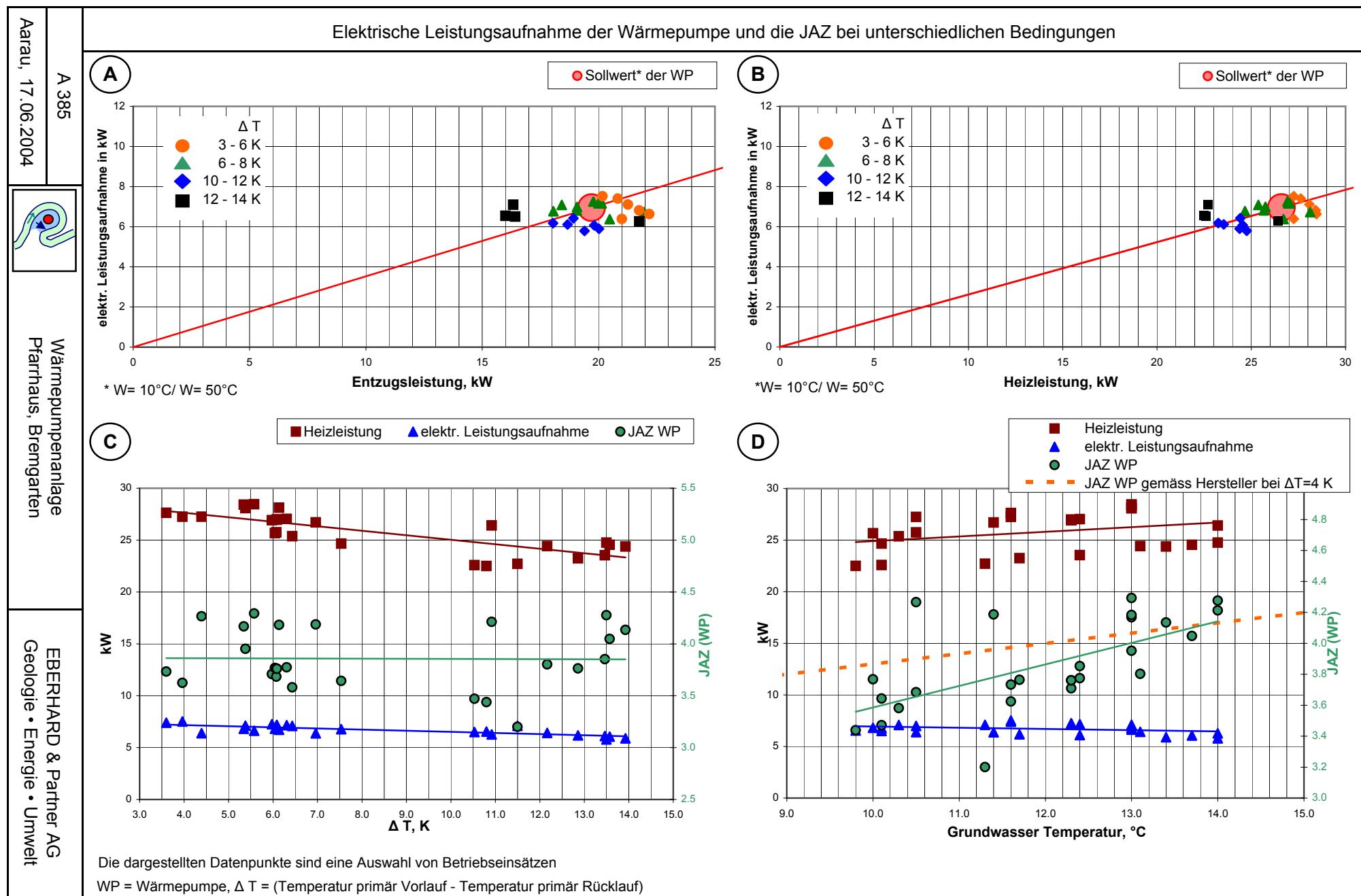
\* Neue Grundwasserpumpe ab Nov. 2003 mit 720 W (1.1 kW Nennleistung)

\*\* In Sisseln wird das Grundwassermaximum durch das Absenken des Grundwasserspiegels mittels einer zusätzlichen Pumpe tief gehalten.

\*\*\* In Bremgarten wird das Grundwasserminimum durch den Stauer auf - 4.4 m nach unten limitiert.

## Wirtschaftlichkeitsermittlung und -vergleich

		Untiefes Grundwasser Sisseln		Durch den Vorfluter beeinflusstes Bremgarten			
A 385 / 387							
Aarau 17.06.2004		Wärmepumpe: Hersteller, Typ Wärmepumpe (Heizleistung, 0°C/353°C)	Stiega-Therm AG, GWZ 20.1 21.5 kW	Viessmann, Vitocal 300 28.4 kW			
		Wärmeentzug aus dem Grundwasser Stromverbrauch Wärmepumpe Betriebsstunden der WP Stromverbrauch der GW-Pumpe Heizwärme JAZ (WP)	Qp E <sub>WP</sub> h E <sub>GWP</sub> Qs	1. Jahr 36'099 kWh 11'822 kWh 2'281 h 1'441 kWh 46'968 kWh 4.0	2. Jahr 39'068 kWh 12'486 kWh 2'394 h 1'547 kWh 51'055 kWh 4.1	1. Jahr 65'131 kWh 23'794 kWh 3'895 h 1'390 kWh 85'490 kWh 3.6	2. Jahr 78'184 kWh 26'324 kWh 4'070 h 2'430 kWh 101'112 kWh 3.8
Wärmepumpen-Anlage Feuerwehrmagazin in Bremgarten	EBERHARD & Partner AG Geologie • Energie • Umwelt	<b>Für 100'000 kWh Heizwärme:</b>					
		Stromverbrauch für WP = E <sub>WP</sub> / Qs		25'170 kWh	24'456 kWh		
		Stromverbrauch für GWP = E <sub>GWP</sub> / Qs		3'068 kWh	3'030 kWh		
		Stromverbrauch Wärmeerzeugung		28'238 kWh	27'486 kWh		
		Stromkosten bei 0.116 Fr. / kWh Kostendifferenz pro Jahr		Fr. 3'275.65 Fr. 141.52	Fr. 3'188.38 Fr. 110.40		
		Stromverbrauch Wärmeerzeugung		55'724 kWh	57'896 kWh		
		Stromkosten bei 0.116 Fr. / kWh Kostendifferenz für beide Jahre		Fr. 6'464.03 Fr. 251.93	Fr. 6'715.96		
<p>Die Entstehungskosten für die Wasserfassung und die Wärmeerzeugung können für diese beiden Anlagen als gleich gross angenommen werden.</p> <p>1. Jahr: Juni 2002 - Mai 2003, 2. Jahr: Juni 2003 - Mai 2004</p> <p>GW = Grundwasser, GWP = Grundwasserpumpe, UKT = Unterkante Terrain, WP = Wärmepumpe</p>							



## Leistungsdiagramme Vitocal 300 (zweistufig)

## Typ BW220

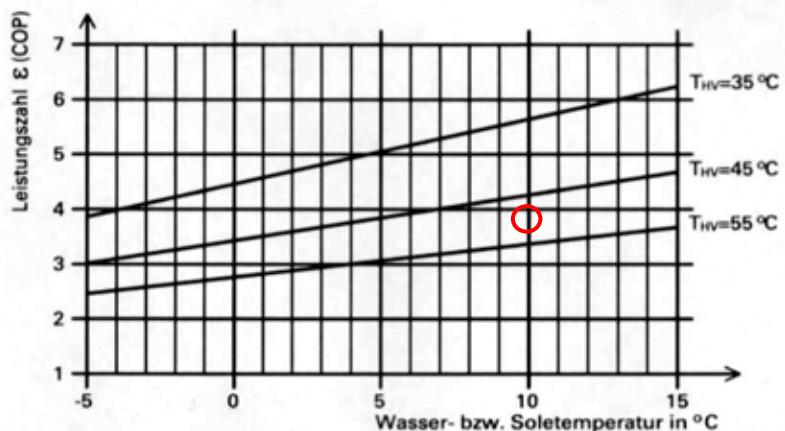
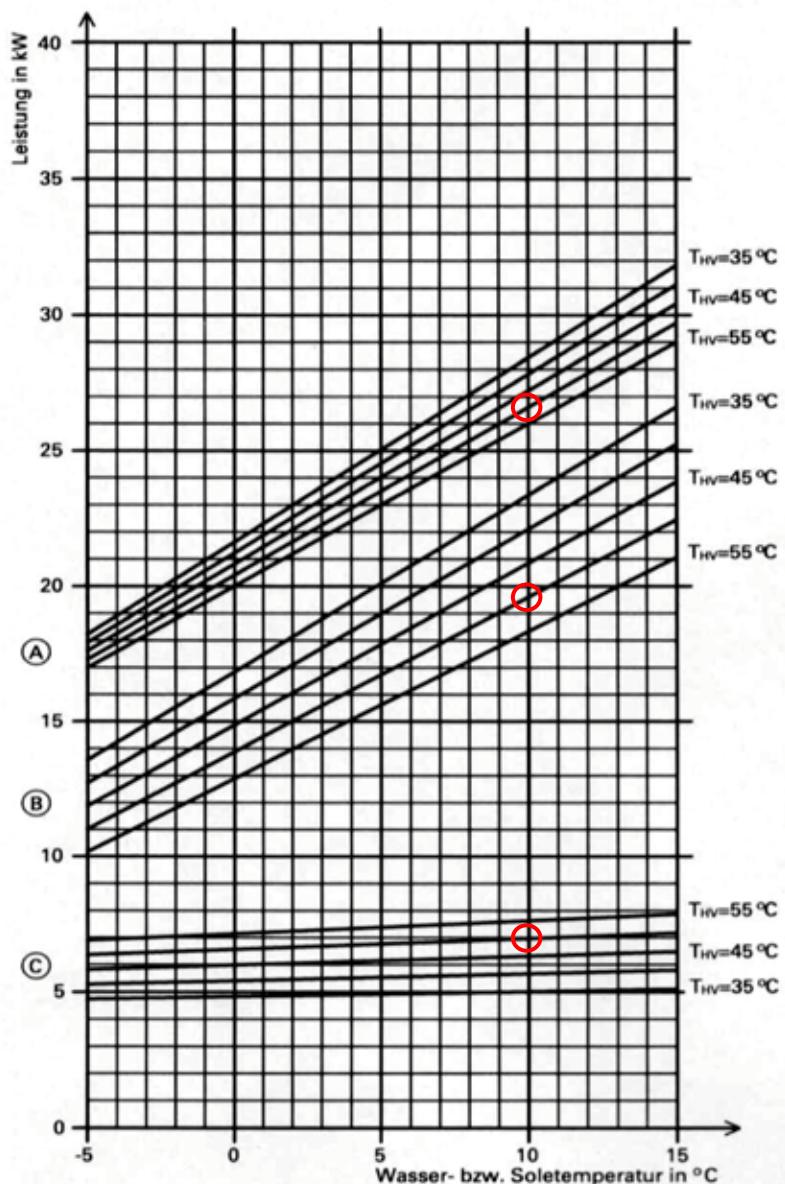
## Leistungsdaten

Betriebspunkt	B0/ W35	B2/ W45	B2/ W55
Heizleistung kW	21,60	22,20	21,20
Kälteleistung kW	16,80	16,20	14,00
elektr. Leistungs- aufnahme kW	4,80	6,00	7,20
Leistungszahl $\epsilon$ (COP)	4,49	3,69	2,93

## Typ WW220

## Leistungsdaten

Betriebspunkt	W10/ W35	W8/ W45	W8/ W55
Heizleistung kW	28,40	25,80	24,80
Kälteleistung kW	23,40	19,60	17,30
elektr. Leistungs- aufnahme kW	5,00	6,20	7,50
Leistungszahl $\epsilon$ (COP)	5,66	4,14	3,29



- (A) Heizleistung  
(B) Kälteleistung  
(C) elektr. Leistungsaufnahme