

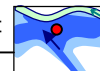
Schlussbericht September 2004

Wärmepumpen-Anlage Feuerwehrmagazin und Wohnungen Sisseln, Zweijährige Erfolgskontrolle (Messkampagne)

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

INHALTSVERZEICHNIS

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



ZUSAMMENFASSUNG

Für die Beheizung und Warmwasseraufbereitung des Feuerwehrmagazins sowie der über letzterem liegenden Wohnungen wurde die bestehende Ölheizung im Sommer 2002 zu 100 % durch eine Grundwasser-Wärmepumpenanlage substituiert. Brauchwasser wird mittels eines zusätzlichen elektrischen Heizstabes auf das erforderliche Temperaturniveau gebracht. Die ersten Messdaten konnten Anfang Juni 2002 erfasst werden.

Die Grundwasser-Wärmepumpenanlage im Feuerwehrgebäude in Sisseln befindet sich in einem 10 m mächtigen Grundwasserkörper wobei der Wasserspiegel bis rund 2 m UKT reicht. Ohne automatische Einschaltkontrolle der Förderpumpe würde das Grundwasser zeitweise sogar über die Bodenplatte des Gebäudes steigen. Das Grundwasser wird aus einem Schacht in den Heizraum im 2. Stock des Gebäudes befördert, wo es ohne Zwischenkreislauf über einen automatischen rückspülbaren Filter direkt der Wärmepumpe zugeführt wird. Mit der Anlage konnte eine JAZ der Wärmepumpe von 4 erreicht werden (bei einer Temperaturabsenkung von 3 bis 4 K). Eventuell kann diese Anlage durch eine zusätzlich geringfügig erhöhte Wärmeentnahme aus dem Grundwasser nochmals leicht verbessert werden.

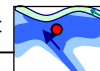
Im Vergleich zu einer Grundwasser-Wärmepumpenanlage in Bremgarten (separater BFE-Bericht 43'159 / 83'088) schneidet diejenige von Sisseln leicht besser ab, da bei der Anlage in Bremgarten aufgrund der geringen und stark schwankenden Grundwassermächtigkeiten ein Zwischenkreislauf notwendig wurde. Die jährlichen Betriebskosten liegen in Sisseln um Fr. 110.-- unter denjenigen von Bremgarten.

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 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 Grundwasserwärmenutzung als Erklärung in Frage.

SUMMARY

For domestic heating and warm water production of a fire-brigade building including several living quarters, an old oil heating system was replaced to 100% by a ground water heat pump installation in summer 2002. Warm water production is achieved with an additional electrical heat rod. The first control measurement data were recorded at the beginning of June 2002.

The groundwater heat pump in the fire-brigade building in Sisseln is located above a 10 m deep groundwater aquifer. The water table is located practical at ground surface. In times of intensive rainfall, without an automatically working pump system the groundwater would rise above the ground floor. Installed inside of the building, groundwater is pumped up to the second floor where the heat pump is located. Without requiring an intermediate circulation system, the installation is equipped with a back flush filter. Finally, a COP of 4 was achieved



with this heat pump system (under a temperature drop of 3 to 4 K). The plant performance might still be raised to a small amount by slightly increasing the groundwater heat extraction. A comparison with a groundwater heat pump plant at Bremgarten (separate BFE report 43'159 / 83'088) shows that the performance of Sisseln installation is slightly better than that of Bremgarten, where the operation of an additional intermediate circulation system is required. The annual running costs in Sisseln are Fr. 110.-- lower than in Bremgarten.

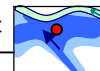
Groundwater temperatures of both installations are poorly correlating with outside temperatures or water temperatures of the Reuss (in vicinity of Bremgarten) or Rhein (close to Sisseln). In the case of Sisseln, one explanation can be that genuine groundwater and not exfiltrating river water from the Rhein is being used for heat extraction. In Bremgarten, however, doubtless 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 31. Oktober 2001 wurde uns mit Verfügung vom 8. November 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 des Feuerwehrmagazins und der über diesem liegenden Wohnungen (Beilagen 2 und 4) wurde die bestehende Ölheizung im Sommer 2002 zu 100 % durch eine Grundwasser-Wärmepumpenanlage substituiert. Die ersten Messdaten konnten Anfang Juni 2002 erfasst werden. Die Wärmepumpenanlage befindet sich in Sisseln, ca. 125 m südlich des Rheins (Beilage 1). Im Zuge von Renovationsarbeiten (Aussenisolation – Standard Minergiehaus) wurde das Gebäude mit einer Grundwasserwärmepumpenanlage (monovalent mit Brauchwarmwasseraufbereitung) ausgerüstet. Das besondere an der Anlage ist, neben dem Minergiestandard, dass das Grundwasser unter dem Gebäude im Laufe der Jahre allmählich anstieg und die Kellerräume zeitweise überschwemmte. Während der Renovationsarbeiten wurde ein bestehender Abwasserschacht, welcher tief im Grundwasserkörper liegt, vom Abwassersystem abgekoppelt, und mittels Bohrlöchern wurde der freie Zugang des Grundwassers in diesen Schacht ermöglicht. Eine Grundwasserförderpumpe (CRNE 32-1-1 der Firma Grundfos) mit integrierter Grundwasserniveausteuereungsregelung, welche über dem Schacht steht, gewährleistet, dass das Grundwasser ein bestimmtes Niveau nicht überschreiten kann (Beilagen 5, 6 und 8). Im selben Schacht, jedoch auf tieferem Niveau, befindet sich auch die Unterwasserpumpe (Grundfos SP5A-4) zur Förderung des Grundwassers, welches für die Wärmepumpe benötigt wird. Das Grundwasser wird dabei vom Keller zum sich im 2. Stock befindlichen Heizraum befördert.



Ziele des Forschungsprojektes sind:

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

Folgende Parameter werden automatisch in regelmässigen Abständen erfasst (Beilagen 9 und 13):

- 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 sowie der Brauchwasseraufbereitung (kWh)
- Betriebsstundenzählung der Verdichter in der Wärmepumpe und des Heizstabes

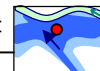
Datenerfassung und Verarbeitung

Nach der Installation der Wärmepumpenanlage konnten ab dem 1. Juni 2002 die Messdaten erfasst und in unsere Software (HYDRAS 3) eingespielen werden. Die Messfrequenz beträgt beim Grundwasserpegelstandsmesser, beim Grundwassertemperaturfühler im Piezometerrohr P1 und beim Temperaturfühler an der Aussenfassade Nord eine Messung pro 15 Minuten (Beilagen 5 und 9). Bei den restlichen Daten beträgt die Messfrequenz eine Messung pro Stunde.

Am 26. September 2002 wurde die Messfrequenz beim Grundwassertemperaturfühler auf eine Messung pro 5 Minuten erhöht. Ebenso wurde am 2. November 2002 die Messfrequenz bei den Vor- und Rücklauftemperaturfühlern und bei den Wärmezählern im Primär- und Sekundärkreislauf auf 1 Messung pro 5 Minuten erhöht. Die Daten werden von uns zweimal wöchentlich per Modem abgefragt.

3. STANDORT / AUSLEGUNGSDATEN

Baujahr der Anlage:	2002
Beheizte Fläche:	713 m ²
Wärmeverteilung:	Radiatoren
Warmwasser:	Elektroeinsatz
Wärmeleistungsbedarf Haus:	18.2 kW
Max. Heizleistung WP (W 0 / W 50):	20.1 kW ¹⁾
Wassermenge (Liter / Minute):	58 l/min ¹⁾
Leistung GW (Verdampferleistung):	14.03 kW ¹⁾
Leistung Kompressor (W 10 / W 50):	5.5 kW ¹⁾



GW-Pumpen (Fabrikat / Typ):	Grundfos / SP 5A-4
Leistung GW-Pumpe:	0.37 kW
Wärmepumpen Typ:	GWZ 20.1
Fabrikat:	Striega-Therm AG
Kältemittel:	R 407 C
Zwischenkreislauf:	Nein
Sandfilter:	Robinex, Maschenweite: 200 µm
Planung/ Beratung/ Installation:	Innoplan, Schöffland, Thomas Bussinger AG, Eiken, Franz Rebmann AG, Kaisten, EBERHARD & Partner AG, Aarau

GW = Grundwasser, WP = Wärmepumpe, 1) Angabe des Herstellers

Die Wärmepumpenanlage befindet sich über den grundwasserführenden Rheinschottern in Sisseln (Beilage 1). Bei der eingesetzten Grundwasser-Wärmepumpe handelt es sich um eine Maschine der Firma Striega-Therm AG (Typ GWZ 20.1) mit einer Wärmekapazität Q_h von 21.5 kW und einem Durchsatz von 3.5 m³/h (58 l/min).

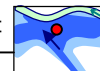
4. ENERGIE

Periode: Juni 2002 bis Mai 2004 (Beilagen 10 - 12)

	Jahr Jun 02 – Mai 03	S* 02 Jun 02 – Aug 02	HP** 02/03 Sep 02 – Mai 03
Erbrachte Heizenergie:	46'968 kWh/a	1'153 kWh	45'815 kWh
Genutzte Wärme aus Grundwasser:	36'099 kWh/a	898 kWh	35'201 kWh
Stromverbrauch WP (Verdichter):	11'822 kWh/a	289 kWh	11'533 kWh
Stromverbrauch UWP:	1'441 kWh/a	46 kWh	1'395 kWh
Stromverbrauch El.-E.:	3'491 kWh/a	717 kWh	2'774 kWh
Verluste:	2'763 kWh/a	129 kWh	2'634 kWh
Betriebsstunden WP:	2'281 h	56 h	2'225 h
JAZ (nur WP):	4.0	4.0	4.0
JAZ (WP und UP):	3.5	3.4	3.5

	Jahr Jun 03 – Mai 04	S* 03 Jun 03 – Aug 03	HP** 03/04 Sep 03 – Mai 04
Erbrachte Heizenergie:	51'055 kWh/a	943 kWh	50'112 kWh
Genutzte Wärme aus Grundwasser:	39'068 kWh/a	717 kWh	38'351 kWh
Stromverbrauch WP (Verdichter):	12'486 kWh/a	271 kWh	12'215 kWh
Stromverbrauch UWP:	1'547 kWh/a	39 kWh	1'508 kWh
Stromverbrauch El.-E.:	3'454 kWh/a	599 kWh	2'855 kWh
Verluste	2'425 kWh/a	132 kWh	2'293 kWh
Betriebsstunden WP:	2'394 h	49 h	2'345 h
JAZ (nur WP):	4.0	3.5	4.1
JAZ (WP und UP):	3.5	3.0	3.6

S* = Sommer, HP** = Heizperiode, WP = Wärmepumpe, UWP = Unterwasserpumpe, El.-E. = Elektroeinsatz, UP = Umwälzpumpen



5. GEOLOGIE / HYDROGEOLOGIE

Der geologische Untergrund baut sich aus den Niederterrassenschottern des Rheintales auf, welche in diesem Bereich eine Mächtigkeit von rund 13 m erreichen. Im Schotter befindet sich ein 10 m mächtiger Grundwasserkörper, welcher in Richtung NW fließt (Beilagen 1, 2 und 3). Unterlagert werden diese Schichten von den Silt- bis Sandsteinen des Oberrotliegenden. Wie sich aus anderen Bohrungen in der Umgebung ergeben hat, weist der Schotter eine Durchlässigkeit von durchschnittlich 10^{-3} m/s auf.

6. MESSKONZEPT / MESSINSTALLATION

Wie schon bei der Parameternaufstellung ersichtlich, werden bei der Anlage auf der Primärseite der Grundwasserstand und die Grundwassertemperatur in einem Peilrohr erfasst (Beilage 5). Zusätzlich werden auf der Primärseite vor Eintritt in die Wärmepumpe bzw. bei Austritt aus derselben die Temperaturverhältnisse nochmals ermittelt (Beilage 5, 9). Im Sekundärkreislauf werden wiederum die Vor- und Rücklauftemperaturen erfasst. Mittels je eines Wärmezählers wird die Wärmezufuhr im Primärkreislauf und der Wärmeverbrauch im Sekundärkreislauf überwacht. Der Wärmeverbrauch für die Brauchwasseraufbereitung wird ebenfalls mittels eines Wärmezählers erhoben. Beim Verdichter der Wärmepumpe werden sowohl die Betriebsstunden als auch der Stromverbrauch, bei der Unterwasserpumpe nur der Stromverbrauch registriert. Bei der Brauchwasseraufbereitung werden sowohl der Stromverbrauch als auch die Betriebsstunden (diese jedoch nur mittels eines Zählwerks) erfasst. Ein Aussentemperaturfühler erlaubt es, den jeweiligen Wärmebezug in Relation zu den Temperaturverhältnissen ausserhalb der beheizten Räume zu setzen.

7. MESSRESULTATE

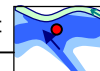
Bei den Messerhebungen werden die Werte von Anfang Juni 2002 bis Ende Mai 2004 betrachtet. Bei den folgenden Ausführungen ist mit „Sommer“ die Periode von Anfang Juni bis Ende August und mit „Heizperiode“ jene von Anfang September bis Ende Mai gemeint.

7.1. Aussen-, Grundwasser- und Rheintemperaturverhältnisse

Aussentemperaturen (Beilage 15)

Der Aussentemperaturfühler befindet sich an der Nordfassade des Feuerwehrgebäudes (Beilage 3). Es ergeben sich folgende Tagesmittelwerte:

Saison (Tagesmittel)	Periode	Ø °C	min. °C	max. °C
Sommer 2002	Jun 02 - Aug 02	20.3	14.2	28.5
Heizperiode 2002 - 2003	Sep 02 - Mai 03	8.1	-6.0	19.0
Sommer 2003	Jun 03 - Aug 03	24.0	17.0	28.7
Heizperiode 2003 - 2004	Sep 03 - Mai 04	7.5	-4.7	20.4
1. Jahr	Jun 02 - Mai 03	11.3	-6.0	28.5
2. Jahr	Jun 03 - Mai 04	11.7	-4.7	28.7



Grundwassertemperaturen (Beilagen 16, 17 und 20)

Die Grundwassertemperaturmessungen wurden im Peilrohr (P1) durchgeführt (Beilage 3 - 5). Die Messwerte beziehen sich auf das Tagesmittel der Messperiode Juni 2002 – Mai 2004.

Saison (Tagesmittel)	Periode	Ø °C	min. °C	max. °C
Sommer 2002	Jun 02 - Aug 02	11.5	Jun 11.0	Jul 11.8
Heizperiode 2002 - 2003	Sep 02 - Mai 03	10.8	Mrz 11.3	Sep 11.7
Sommer 2003	Jun 03 - Aug 03	12.3	Jun 11.3	Aug 12.8
Heizperiode 2003 - 2004	Sep 03 - Mai 04	11.0	Apr 10.4	Sep 12.6
1. Jahr	Jun 02 - Mai 03	11.0	10.3	11.8
2. Jahr	Jun 03 - Mai 04	11.3	10.4	12.8

Rheintemperaturen (Beilage 20)

Die aufgeführten Rheinwassertemperaturen stammen von der Messstation Rheinfelden [Wassermessstation (LH 2091)], welche durch das Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), Landeshydrologie betrieben wird.

Saison (Tagesmittel)	Periode	Ø °C	min. °C	max. °C
Sommer 2002	Jun 02 - Aug 02	19.3	Jun 14.8	Jul 22.4
Heizperiode 2002 - 2003	Sep 02 - Mai 03	10.2	Mrz 3.5	Sep 20.6
Sommer 2003	Jun 03 - Aug 03	22.7	Jun 17.2	Aug 25.0
Heizperiode 2003 - 2004	Sep 03 - Mai 04	9.8	Apr 4.4	Sep 21.1
1. Jahr	Jun 02 - Mai 03	12.5	3.5	22.4
2. Jahr	Jun 03 - Mai 04	13.1	4.4	25.0

7.2. Temperaturverhältnisse im Primär- und im Wärmekreislauf

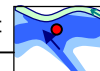
Primärkreislauf (Beilagen 16 und 17)

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

Saison (Monatsmittel)	Periode	Vorlauftemperaturen			Rücklauftemperaturen		
		Ø °C	min. °C	max. °C	Ø °C	min. °C	max. °C
Sommer 2002	Jun 02 - Aug 02	12.2	12.1	12.4	11.8	10.5	11.0
Heizperiode 2002 - 2003	Sep 02 - Mai 03	11.7	11.3	12.5	9.3	8.8	10.2
Sommer 2003	Jun 03 - Aug 03	12.9	12.4	13.2	10.6	10.2	11.0
Heizperiode 2003 - 2004	Sep 03 - Mai 04	11.9	11.5	13.1	9.2	8.7	10.5
1. Jahr	Jun 02 - Mai 03	11.8	11.3	12.5	9.6	8.8	11.0
2. Jahr	Jun 03 - Mai 04	12.2	11.5	13.2	9.5	8.7	11.0

Sekundärkreislauf (Beilage 17)

Saison (Monatsmittel)	Periode	Vorlauftemperaturen			Rücklauftemperaturen		
		Ø °C	min. °C	max. °C	Ø °C	min. °C	max. °C
Sommer 2002	Jun 02 - Aug 02	48.4	47.4	49.0	43.4	42.8	43.6
Heizperiode 2002 - 2003	Sep 02 - Mai 03	45.3	42.7	47.8	38.9	36.3	41.7
Sommer 2003	Jun 03 - Aug 03	48.7	48.6	48.7	43.4	43.4	43.5
Heizperiode 2003 - 2004	Sep 03 - Mai 04	45.5	44.9	46.7	39.5	38.8	40.4
1. Jahr	Jun 02 - Mai 03	46.1	42.7	49.0	40.0	36.3	43.6
2. Jahr	Jun 03 - Mai 04	46.4	44.9	48.7	40.4	38.8	43.5



7.3. Wärmehähler

Wärmeentzug (Beilagen 10 - 14)

Der Wärmeentzug und die Heizwärme wurden mittels Wärmehählern der Firma NeoVac ermittelt und aufgezeichnet (Beilagen 7 und 9).

Saison	Periode	Wärmeentzug kWh	Heizwärme kWh
Sommer 2002	Jun 02 - Aug 02	898	1'153
Heizperiode 2002 - 2003	Sep 02 - Mai 03	35'201	45'815
Sommer 2003	Jun 03 - Aug 03	717	943
Heizperiode 2003 - 2004	Sep 03 - Mai 04	38'351	50'112
1. Jahr	Jun 02 - Mai 03	36'099	46'968
2. Jahr	Jun 03 - Mai 04	39'068	51'055

7.4. Stromverbrauch

Verdichter, Unterwasserpumpe

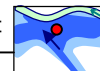
Der Stromverbrauch wurde mittels eines Stromverbrauchszählers und in einem Datenlogger gesammelt (Beilagen 10 – 17).

Saison	Periode	Stromverbrauch Verdichter kWh	Stromverbrauch Unterwasserpumpe kWh
Fabrikat Typ		Striega-Therm AG GWZ 20.1 3.9 kW	Grundfos SP 5A – 4 0.37 kW
Sommer 2002	Jun 02 - Aug 02	289	46
Heizperiode 2002 - 2003	Sep 02 - Mai 03	11'533	1'395
Sommer 2003	Jun 03 - Aug 03	271	39
Heizperiode 2003 - 2004	Sep 03 - Mai 04	12'215	1'508
1. Jahr	Jun 02 - Mai 03	11'822	1'441
2. Jahr	Jun 03 - Mai 04	12'486	1'547

Umwälzpumpen sekundär

Der Stromverbrauch der Kreislumpen im Sekundärkreislauf wurden mittels der Nennleistung und den Betriebsstunden der Wärmepumpe berechnet (Beilage 10).

Saison	Periode	Stromverbrauch Umwälzpumpe Sekundärkreislauf kWh	Stromverbrauch Umwälzpumpe Zirkulation kWh
Fabrikat Typ		Smedegaard AG EV 2-72-2C 85 W	Arwa AG, Vortex BW 153 V KT 20 W
Sommer 2002	Jun 02 - Aug 02	5	44
Heizperiode 2002 - 2003	Sep 02 - Mai 03	189	131
Sommer 2003	Jun 03 - Aug 03	4	44
Heizperiode 2003 - 2004	Sep 03 - Mai 04	199	132
1. Jahr	Jun 02 - Mai 03	194	175
2. Jahr	Jun 03 - Mai 04	203	176



7.5. Betriebsstunden

(Beilagen 10 - 13)

Die Betriebsstunden der Wärmepumpen wurden im Minutentakt aufgezeichnet. Die Betriebsdauer der Unterwasserpumpe wurde nicht registriert. Die Betriebsstunden des Elektro-einsatzes wurden analog erfasst und monatlich manuell aufgezeichnet.

Saison	Periode	Betriebs- stunden Wärmepumpe h	Betriebs- stunden Elektroeinsatz h
Sommer 2002	Jun 02 - Aug 02	56	633
Heizperiode 2002 - 2003	Sep 02 - Mai 03	2'225	1'932
Sommer 2003	Jun 03 - Aug 03	49	637
Heizperiode 2003 - 2004	Sep 03 - Mai 04	2'225	1'932
1. Jahr	Jun 02 - Mai 03	2'281	2'565
2. Jahr	Jun 03 - Mai 04	2'394	2'569

7.6. Durchfluss und Wärmeentnahme

(Beilage 21)

In der oberen Graphik auf Beilage 21 ist ersichtlich, dass der Durchfluss relativ konstant über die gesamte Zeitdauer bei ca. 100 l/min liegt. Das Grundwasser wird beim Wärmeentzug konstant um 2.7 K abgekühlt. Nach einem Störfall der Wärmepumpe im März 2004 stieg dieser Wert aufgrund neuer Anlagenkonfigurationen auf 3.1 K.

7.7. Niederschlagsverhältnisse, Pegelstände

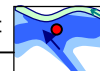
Niederschlag (Beilage 19)

Die Niederschlagsdaten entstammen der Messstation Aarau/Buchs und dienen als Richtwerte. Während der Messperiode Juni 2002 – 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	276.4	772.6	188.0	584.9	1049.0	772.9
Tagesmax.	34.5	40.0	42.4	42.2	40.0	42.4

Rheinwasserstände (Beilage 19)

Die aufgeführten Rheinwasserstände stammen von der Messstation Rheinfelden (LH 2091), 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	3.05	263.05	2.52	262.52	4.56	264.56
Heizperiode 2002 - 2003	Sep 02 - Mai 03	2.74	262.74	2.02	262.02	4.29	264.29
Sommer 2003	Jun 03 - Aug 03	2.29	262.29	1.84	261.84	2.89	262.89
Heizperiode 2003 - 2004	Sep 03 - Mai 04	2.15	262.15	1.60	261.60	4.53	264.53
1. Jahr	Jun 02 - Mai 03	2.82	262.82	2.02	262.02	4.56	264.56
2. Jahr	Jun 03 - Mai 04	2.19	262.19	1.60	261.60	4.53	264.53

m_n: Pegelhöhe in Meter, bezogen auf Messpunkthöhe 340 m ü.M.

Grundwasser (Beilage 19)

Der Grundwasserpegel wurden im Peilrohr P1 (Beilagen 3 – 5) mittels einer 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	-3.02	287.98	-3.09	287.91	-2.95	288.05
Heizperiode 2002 - 2003	Sep 02 - Mai 03	-2.92	288.08	-3.05	287.96	-2.75	288.25
Sommer 2003	Jun 03 - Aug 03	-2.99	288.01	-3.10	287.90	-2.91	288.09
Heizperiode 2003 - 2004	Sep 03 - Mai 04	-3.01	287.99	-3.15	287.85	-2.88	288.12
1. Jahr	Jun 02 - Mai 03	-2.95	288.05	-3.09	287.91	-2.75	288.25
2. Jahr	Jun 03 - Mai 04	-3.01	287.99	-3.15	287.85	-2.88	288.12

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

8. ENERGIEBILANZ UND JAHRESARBEITSZAHL

(Beilage 10, 11 und 12)

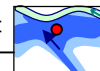
Saison	Periode	Wärme- entzug kWh	Strom Verdichter kWh	Strom total kWh	Heiz- wärme kWh	Verlust* kWh	JAZ WP	JAZ gesamt
Sommer 2002	Jun 02 – Aug 02	898	289	384	1'153	129	4.0	3.4
Heizperiode 2002 - 2003	Sep 02 – Mai 03	35'201	11'533	13'248	45'815	2'634	4.0	3.5
Sommer 2003	Jun 03 – Aug 03	717	271	358	943	132	3.5	3.0
Heizperiode 2003 - 2004	Sep 03 – Mai 04	38'351	12'215	14'025	50'112	2'264	4.1	3.6
1. Jahr	Jun 02 – Mai 03	36'099	11'822	13'632	46'968	2'763	4.0	3.5
2. Jahr	Jun 03 – Mai 04	39'068	12'486	14'383	51'055	2'396	4.0	3.5

* Verluste = Hilfsaggregate (Pumpe, Kreislumpen), WP = Wärmepumpe

9. SOLL- IST VERGLEICH

Während der Messkampagne wurde wesentlich mehr Heizwärme mit weniger Stromaufwand produziert als ursprünglich erwartet. Die Anlage lief demnach besser als erwartet.

	Sollwert	Istwert
Stromverbrauch (kWh/a)	19'808	19'042
Heizenergie (kWh/a)	38'033	46'968
Heiz- und Warmwasserenergie (kWh/a)	57'842	47'494
JAZ	3.3	3.5



10. INTERPRETATION DER DATEN

10.1. Vergleich der Grund- mit den Rheinwassertemperaturen

Vergleicht man den Temperaturverlauf des Grundwassers mit demjenigen des Rheins (Beilagen 18 und 20), so lässt sich auf den ersten Blick vermuten, dass die Grundwassertemperatur innerhalb von 2 Wochen auf einen Temperaturanstieg des Rheinwassers reagiert. Betrachtet man jedoch die Grundwasserfließverhältnisse, die Grundwasserentlastungsmassnahmen (Entwässerungskanal) und die Mächtigkeit des Grundwasserstromes (Beilage 1), so kommt man zum Schluss, dass dieser Temperaturschlag des Grundwassers eine viel grössere zeitliche Verzögerung haben sollte. Ein Vergleich mit anderen Beispielen lässt vermuten, dass hier eine zeitliche Verzögerung von ca. 1 Jahr vorliegt. Das heisst, dass sich die Temperaturverhältnisse des Rheins rund ein Jahr später auf kleinerem Temperaturniveau im Grundwasser widerspiegeln.

Die Temperatur des Rheinwassers und die Aussentemperatur korrelieren gut miteinander, indem sich jeder Aussentemperaturanstieg praktisch unmittelbar in den Rheinwassertemperaturen widerspiegelt (Beilagen 18 und 22). Die Niederschläge lassen sich mit Temperaturen des Rheinwassers nicht direkt korrelieren.

10.2. Temperaturdifferenzen Grundwasser-, Vor- und Rücklauf-temperaturen

Die Grundwassertemperatur liegt je nach Saison und Pumpbetrieb 1 bis 2°C unter der Vorlauftemperatur im Primärkreislauf (Beilage 17). Dies kann im Wesentlichen auf die Erwärmung des Grundwassers durch die Förderpumpe und den Wärmeaustausch zwischen Grundwasser- und Raumtemperatur im Heizungsraum und, trotz Isolation der Rohre, auf der Zuleitungsstrecke (Heizraum liegt im 2. OG) zurückgeführt werden. Während längerer Betriebspausen steigen die Vor- und Rücklauftemperaturen trotz Isolation bis auf die Raumtemperaturen an. Für die Auswertung (Beilage 17) wurden nur die Temperaturen während des Wärmepumpenbetriebes erfasst.

10.3. Auswirkungen der Niederschläge auf Pegelstände und Wasserförderung

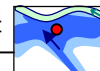
Erwartungsgemäss steigt der Rheinpegel nach intensiven Niederschlägen mit geringer zeitlichen Verzögerung an (Beilage 19). Der Grundwasserspiegel reagiert in gleicher Weise auf Niederschläge, allerdings in abgeschwächter Form.

10.4. Vergleich der Pegelstände und Wassertemperaturen in Sisseln mit dem zeitgleichen Projekt in Bremgarten¹

Vergleicht man die Rheinwassertemperaturen mit denjenigen der Reuss, so kann erkannt werden, dass der jahreszeitliche Verlauf praktisch identisch ist (Beilage 22).

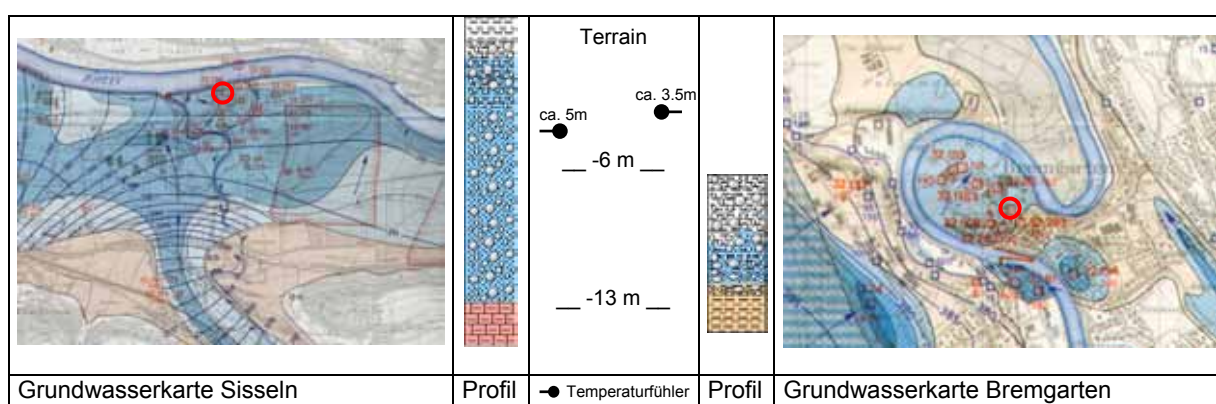
Das Verhalten der Grundwassertemperaturen beider Standorte weicht hingegen stark voneinander ab.

¹ Wärmepumpen-Anlage „Pfarrhaus Bremgarten“, Zweijährige Erfolgskontrolle (Messkampagnen), DIS-Projekt Nr.: 43'159



Während die Temperaturveränderungen des Grundwassers in Sisseln eine zeitliche Verzögerung von ca. 1 Jahr auf die Temperaturveränderungen des Rheinwassers aufweist, reagiert das Grundwasser in Bremgarten auf Temperaturveränderungen der Reuss schon nach 2 Monaten (Beilage 22). Diese unterschiedliche Reaktionsfähigkeit ist grösstenteils auf das unterschiedliche Grundwasserregime zurückzuführen, indem der Grundwasserkörper in Sisseln viel mächtiger und demzufolge träger reagiert als der nur sehr geringmächtige Grundwasserkörper in Bremgarten, welcher zudem mit den Bodentemperaturen interagiert. Eine Interaktion von Rheinwasser und Grundwasser ist zudem praktisch ausgeschlossen, da

das Grundwasser ständig, d.h. auch bei unterschiedlichen Grundwasserständen auf einer Strecke von ca. 5 km in den Rhein infiltrierte und das Grundwasser in diesem Bereich zusätzlich durch einen Entwässerungskanal abgesenkt wird.



Ausschnitte aus den Grundwasserkarten mit dazugehörigen Profilen. Der blau eingefärbte Bereich ist mit Grundwasser gesättigt.

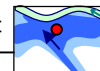
10.5. Hersteller- und Betriebsdaten

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 bei einem ΔT von 2.5 K die Betriebsdaten schlechter sind als die vom Werk angegebenen Maschinenwerte. Dies gilt sowohl für die Entzugs- wie auch für die Heizleistung (Beilage 25, Fig. A und B). Bei der Entnahme von 3.1 K verbessern sich die Werte wesentlich, so dass die Nennwerte des Herstellers bei den Entzugsleistungen erreicht und bei den Heizleistungen diese annähernd erreicht werden (Beilage 25).

Die Abhängigkeit der el. Leistungsaufnahme bzw. der Heizleistung vom ΔT

Betrachtet man die elektrische Leistungsaufnahme und vergleicht sie mit dem entnommenen ΔT , so lässt sich erkennen, dass die Leistungsaufnahme praktisch konstant bleibt (Beilage 25, Fig. C). Mit zunehmendem ΔT vergrössert sich hingegen die Heizleistung und die JAZ (WP) wesentlich, so dass die JAZ von ursprünglich 3.5 bis 4 auf Werte um 4.5 ansteigt. Die Wärmepumpe arbeitet bei höherem ΔT somit wesentlich wirtschaftlicher.



Die Abhängigkeit der Heizleistung, el. Leistungsaufnahme, JAZ von den Grundwassertemperaturen

Wie erwartet, nimmt die Heizleistung mit zunehmender Grundwassertemperatur zu und die elektrische Leistungsaufnahme ab (Beilage 25, Fig. D). Entsprechend nimmt die JAZ (WP) allmählich von 3.5 bis gegen 4.3 zu. Die JAZ liegt dabei bei tieferen Grundwassertemperaturen von 10.5 °C oft unter den vom Werk angegebenen JAZ-Daten, bei höheren Grundwassertemperaturen von 12.5°C steigt sie jedoch über diese an. Nach einem Betriebsunterbruch wurde das ΔT von 2.5 auf 3.1 K heraufgesetzt. Hierbei zeigt sich, dass die Heizleistung wesentlich ansteigt und die JAZ (WP) auf 4.5 zu liegen kommt.

Es ist zu beachten, dass bei dieser Anlage, im Gegensatz zur Anlage in Bremgarten, infolge konstanter Grundwasserförderungsraten auf einen Wärmetauscher bzw. ein Zwischenkreislauf verzichtet werden konnte.

11. FUNKTIONSWEISE UND EFFIZIENZ DER ANLAGE

Die Anlage in Sisseln liegt über einem 10 m mächtigen Grundwasserkörper, welcher Richtung Nordwesten fließt und trotz der Nähe zum Rhein von diesem nicht beeinflusst wird. Eine Dichtungswand entlang des Rheins verhindert eine Interaktion von Grund- mit Rheinwasser und ein Entlastungskanal südlich der Dichtungswand entspannt bei Hochwassersituationen die Grundwasserverhältnisse. Im Feuerwehrgebäude selbst wird das Grundwasser bei Hochwasserstandsverhältnissen mittels einer Grundwasserpumpe und einer Niveauüberwachung mit angeschlossener Regelung künstlich abgesenkt (Beilage 5). Im selben Schacht befindet sich die Unterwasserpumpe, welche das Grundwasser für den Wärmepumpenbetrieb bis in den Heizraum im 2. Stock fördert.

Die Grundwassertemperaturen steigen in den Sommer- bis Herbstmonaten 03 bis gegen 12.5°C an. Im Gegensatz zu den Rheintemperaturen, welche in denselben Monaten bis gegen 25°C (Mitte August 03) anstiegen, liegen die Grundwassertemperaturen auch unter Mitberücksichtigung der zeitlichen Reaktionsverzögerung des Austausches von Oberflächen- und Grundwasser somit auch in den heissesten Monaten deutlich unter diesen Werten. Dies deutet darauf hin, dass trotz der Rheinnähe kein direkter Wärmeaustausch von Rhein- und Grundwasser erfolgt (Beilage 22).

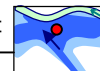
Die Effizienz der Anlage hängt einerseits sehr stark mit dem entnommenen ΔT , und andererseits mit der Grundwassertemperatur zusammen. In Beilage 25 lässt sich feststellen, dass bei einer Erhöhung des ΔT von 2.5 K auf 3.1 K die JAZ von 3.5 auf 4.5 ansteigt. Bei der Erhöhung der Grundwassertemperatur wird die Leistungsaufnahme der Wärmepumpe reduziert, dadurch erhöht sich die JAZ von ursprünglich 3.7 auf 4.3. Insgesamt betrachtet liegt die JAZ (WP) bei 4. Dies entspricht genau den vorgesehenen Betriebsdaten.

12. EFFIZIENZ UND WIRTSCHAFTLICHKEITSVERGLEICH

Im Folgenden wird ein Effizienz- und Wirtschaftlichkeitsvergleich der Anlage in Sisseln mit einer Anlage in Bremgarten vorgenommen (Beilage 23, 24).

Effizienz

Bei der Anlage in Sisseln benötigt man zur Förderung des durchschnittlichen jährlichen Wärmebedarfs von 100'000 kWh ein Stromverbrauch von 27'486 kWh (2. Jahr), während die



Anlage in Bremgarten bei gleichem Wärmebedarf 28'438 kWh (2. Jahr), also 952 kWh mehr Strom verbraucht.

Die ausgewiesene Differenz resultiert aus dem bei der Anlage in Bremgarten infolge des geringmächtigen und jahreszeitlich stark schwankenden Grundwasservorkommens notwendigen Zwischenkreislauf. In Sisseln besteht zu keiner Zeit ein Grundwassermangel (zeitweise eher zu viel Grundwasser), so dass hier kein Zwischenkreislauf notwendig ist. Das im Vergleich zu Bremgarten (bis maximal 14.6°C, Oktober 03) etwas kühlere (bis maximal 12.8°C, August 03), jedoch konstantere Temperaturen aufweisende Grundwasser in Sisseln wird somit über einen automatischen rückspülbaren Filter (Sandeintrag) direkt der Wärmepumpe zugeführt.

Wirtschaftlichkeit

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

13. BETRIEBSERFAHRUNG

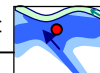
Die Wärmepumpen-Anlage im Feuerwehrgebäude in Sisseln lief bis auf folgende Probleme einwandfrei:

- Da das Grundwasser in Sisseln direkt unter der Bodenplatte des Gebäudes liegt, wird der Grundwasserspiegel mittels einer Grundwasserpumpe automatisch geregelt und in Hochwassersituationen künstlich abgesenkt. Während des hohen Grundwasserstandes im November 2002 wurde durch das häufige Ein- und Ausschalten dieser Grundwasserabsenkpumpe viel Sand aufgewirbelt und zur Unterwasserpumpe der Wärmepumpenanlage befördert. Der grosse Sandanteil im geförderten Grundwasser verstopfte in der Folge den Sandfilter im Heizraum, so dass nicht mehr genügend Grundwasser zur Wärmepumpe gefördert werden konnte und der Strömungswächter die Wärmepumpe ausschaltete. Nach der Montage eines automatischen rückspülbaren Filters im Primärkreislauf konnte dieses Problem behoben werden.
- Ein Fehler in der Wärmepumpe selbst führte im März 2004 zu einem weiteren Betriebsausfall, der jedoch schon bald wieder behoben werden konnte und zu einer verbesserten Einstellung der Wärmepumpe führte. Mit dieser Neueinstellung wurde das ΔT von ursprünglich 2.5 K auf 3.1 K erhöht was zu einer wesentlichen Effizienzsteigerung der Anlage führte (Kapitel 15, Beilage 25).

14. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die in diesem Forschungsprojekt ermittelten Daten lassen Folgendes erkennen:

- Die Effizienz der Grundwasser-Wärmepumpen-Anlage in Sisseln ist stark von den Grundwassertemperaturen und dem ΔT abhängig. Infolge der konstanten Grundwasserförderungsrate ist ein Wärmetauscher mit Zwischenkreislauf in diesem System nicht notwendig. Insgesamt kann eine JAZ (WP) von 4 erreicht werden.



- Im Vergleich mit der Grundwasser-Wärmepumpen-Anlage in Bremgarten, welche stark schwankende Grundwasserförderungsraten aufweist und somit einen Wärmetauscher bzw. Zwischenkreislauf benötigt schneidet die Anlage in Sisseln trotz tieferer Grundwassertemperaturen besser ab. Die JAZ der Wärmepumpe in Sisseln beträgt 4, jene in Bremgarten nur 3.8. Die Effizienz der Anlage in Sisseln ist dementsprechend höher. Hinsichtlich der Betriebskosten müssen in Sisseln zur Aufrechterhaltung des Betriebes rund Fr. 110.-- weniger Betriebskosten als in Bremgarten aufgewendet werden.
- Der durchschnittliche jahreszeitliche Verlauf der Grundwassertemperaturen in Sisseln schwankt zwischen 10.4°C im Monat April und 12.8°C im August. Hieraus resultiert eine maximale Schwankung von insgesamt 2.4°C.
- Die Wärmebilanzen beider Jahre zeigen auf, dass mit 27% Stromzufuhr 73% 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, Grundwasser-Wärmepumpenanlage Feuerwehrgebäude in Sisseln, Absenkung des Grundwasserspiegels bei Hochwasserverhältnissen, Vorgehensvorschläge vom 6. September 2001
- Gesuch an das BFE: Zweijährige Erfolgskontrolle (Messkampagne) der WP-Anlage „Feuerwehrmagazin und Wohnungen Sisseln“ mit Verfügung des BFE vom 8. November 2001.
- EBERHARD & Partner AG, Wärmepumpen-Anlage „Pfarrhaus Bremgarten“, zweijährige Erfolgskontrolle (Messkampagne), Aarau, Mai 2004
- EBERHARD & Partner AG, Wärmepumpen-Anlage Feuerwehrmagazin und Wohnungen Sisseln, zweijährige Erfolgskontrolle (Messkampagne), Aarau, Dezember 2002
- Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), Landeshydrologie, CH-3003 Bern-Ittigen Hydrologische Messdaten der Station: 091 Rhein – Rheinfelden, Wassermessstation

ANHANG

Beilagen

Projektleitung: Dr. M. Eberhard

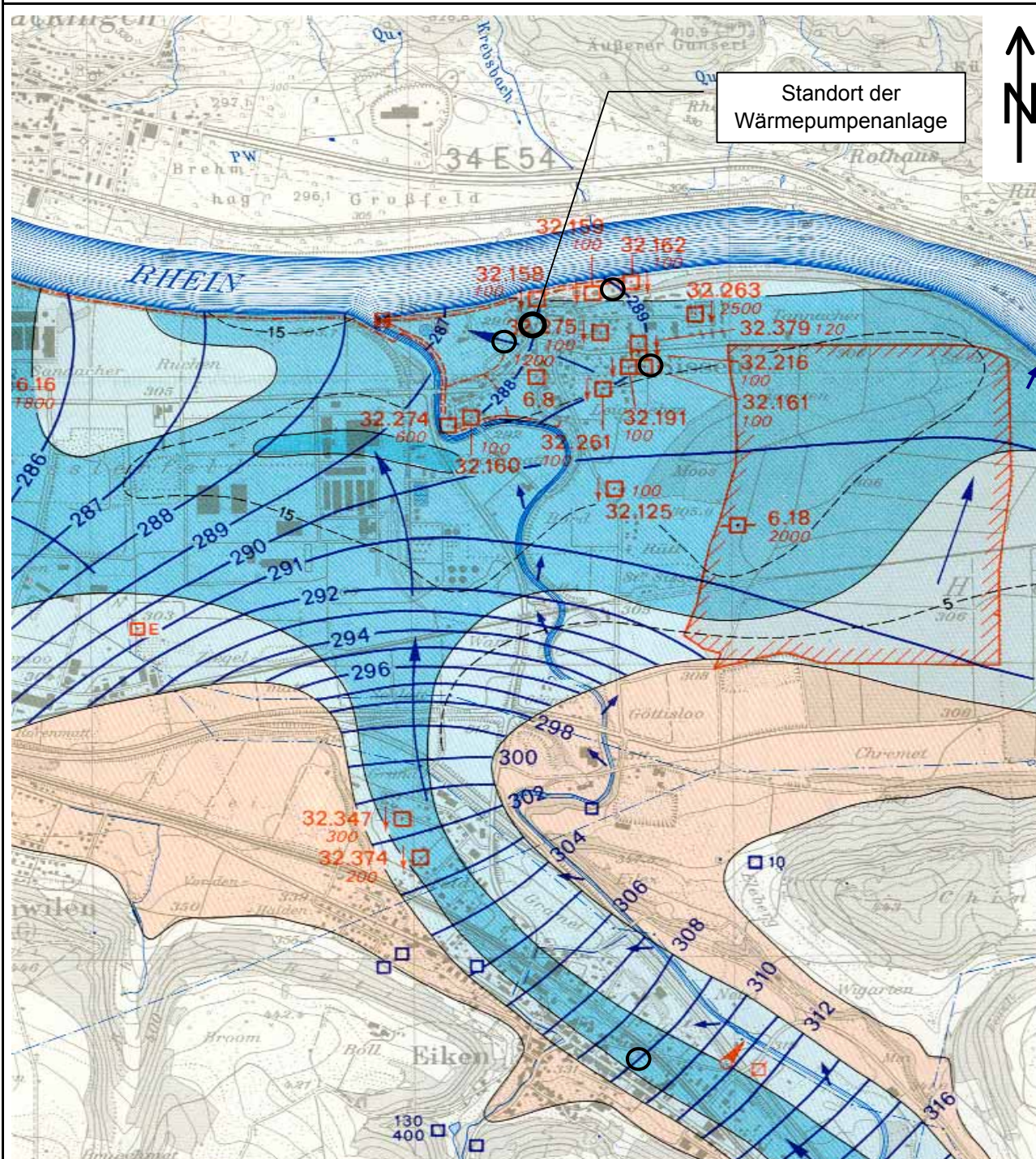
Aarau, 3. September 2004


EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

BEILAGEN

- 1 Ausschnitt aus der Grundwasserkarte des Kantons Aargau, Blatt Laufenburg, mit eingezeichnetem Standort der Anlage
- 2 Ausschnitt aus dem Kataster der Gemeinde Sisseln mit eingezeichnetem Entnahmebrunnen und Verbindungsleitung zum Entwässerungskanal
- 3 Grundriss durch das Untergeschoss mit Übersicht über das Entwässerungskonzept und die Lage der Piezometer P1 bis P5
- 4 Profil Hausansicht von Süden
- 5 Schnitt durch die Grundwasserabsenkungs- und Wärmepumpenanlage / Lage der Entwässerung
- 6 Regelschema
- 7 Photodokumentation Grundwasseranlage in Sisseln
- 8 Photodokumentation Grundwasseranlage in Sisseln
- 9 Prinzipschema Wärmeerzeugung der Grundwasser- und Wärmepumpenanlage
- 10 Auswertung der absoluten Messwerte in der Periode Juni bis November 2002
- 11 Energiebilanz 2002
- 12 Energiebilanz 2003
- 13 Temperaturen und Wärmebilanz der Periode Juni bis November 2002
- 14 Wärmebilanz im Balkendiagramm
- 15 Aussentemperaturen der Aussenfassade Nord
- 16 Temperaturverhältnisse des Grundwassers, Aussentemperatur (Monatsmittel)
- 17 Temperaturverhältnisse Vor- und Rücklauf, Aussentemperatur (Monatsmittel)
- 18 Grundwasserverhältnisse
- 19 Vergleich Rheinpegel, Grundwasserniveau und Niederschlagsmengen (Tageswerte)
- 20 Vergleich Rheinwassertemperatur, Grundwassertemperatur und Niederschlagsmengen (Tageswerte)
- 21 Grundwassertemperatur, Temperaturdifferenz (Vor- und Rücklauf), Durchfluss, Wärmeentzug und Stromverbrauch
- 22 Vergleich der Pegelstände und Wassertemperaturen in Sisseln mit dem zeitgleichen Projekt in Bremgarten
- 23 Effizienzermittlung und -vergleich
- 24 Wirtschaftlichkeitsermittlung und -vergleich
- 25 Elektrische Leistungsaufnahme und die JAZ der Wärmepumpe bei unterschiedlichen Bedingungen

Ausschnitt aus der Grundwasserkarte des Kantons Aargau, Blatt Laufenburg



Legende

○ Standorte weiterer Wärmepumpenanlagen realisiert durch EBERHARD & Partner AG



Oberflächenentwässerung wirkt als Vorfluter für das Grundwasser



Entwässerungskanal mit Entwässerungspumpwerk



Gebiet sehr grosser Grundwassermächtigkeit (>20 m)



Gebiet grosser Grundwassermächtigkeit (10-20 m)



Gebiet mittlerer Grundwassermächtigkeit (2-10 m)



Gebiet geringer Grundwassermächtigkeit (<2 m)



Grundwasserisohypse (m ü. M.) bei Mittelwasserstand



Quellfassung (min./max. in l/min)



Grundwasserfassung mit Nummer und Entnahmemenge in l/min

A 387

17.06.2004

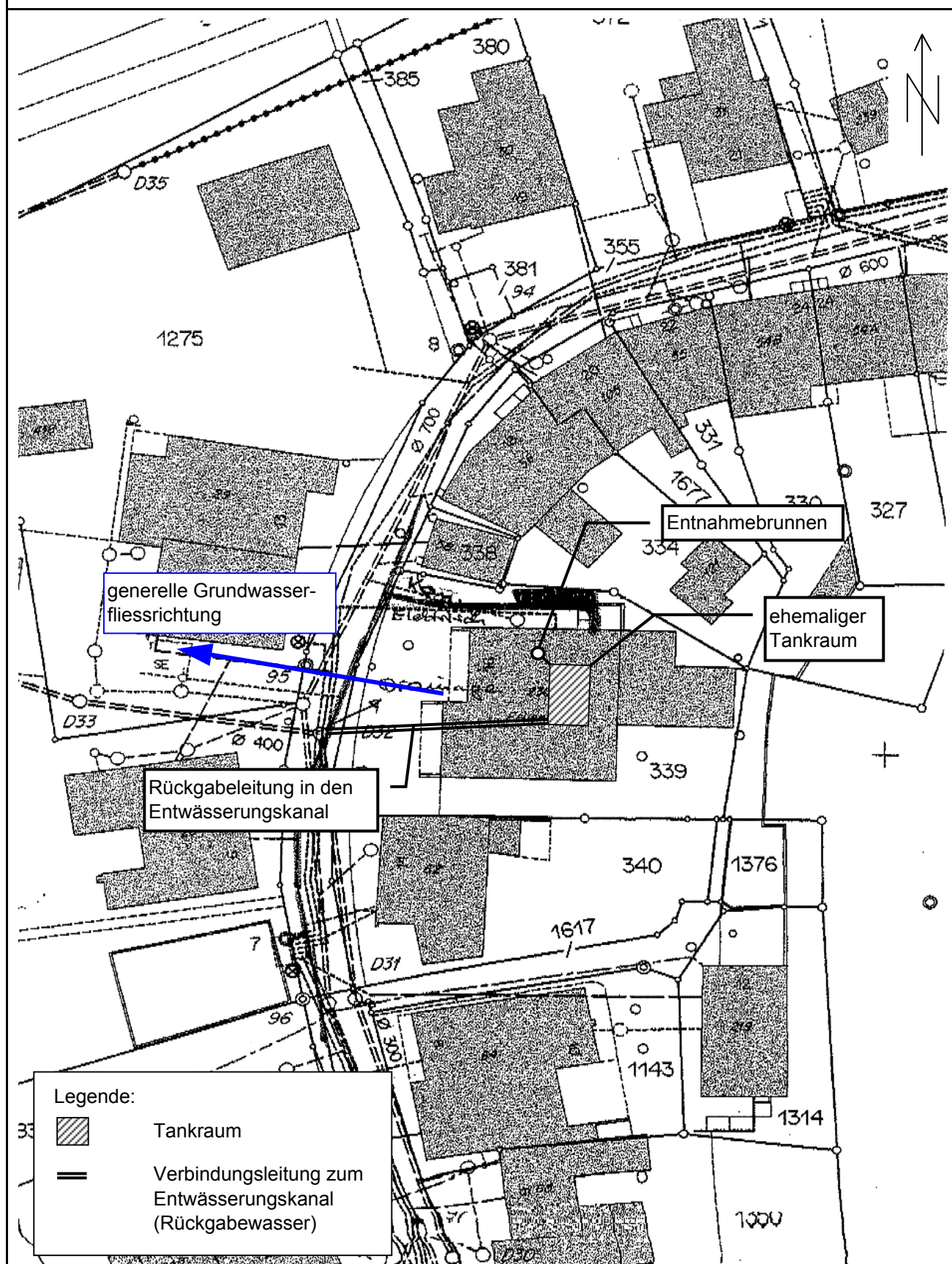


WP-Anlage Feuerwehrmagazin und Wohnungen, Sisseln

1:25'000

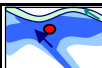
EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

Ausschnitt aus dem Katasterplan der Gemeinde Sisseln



A 387

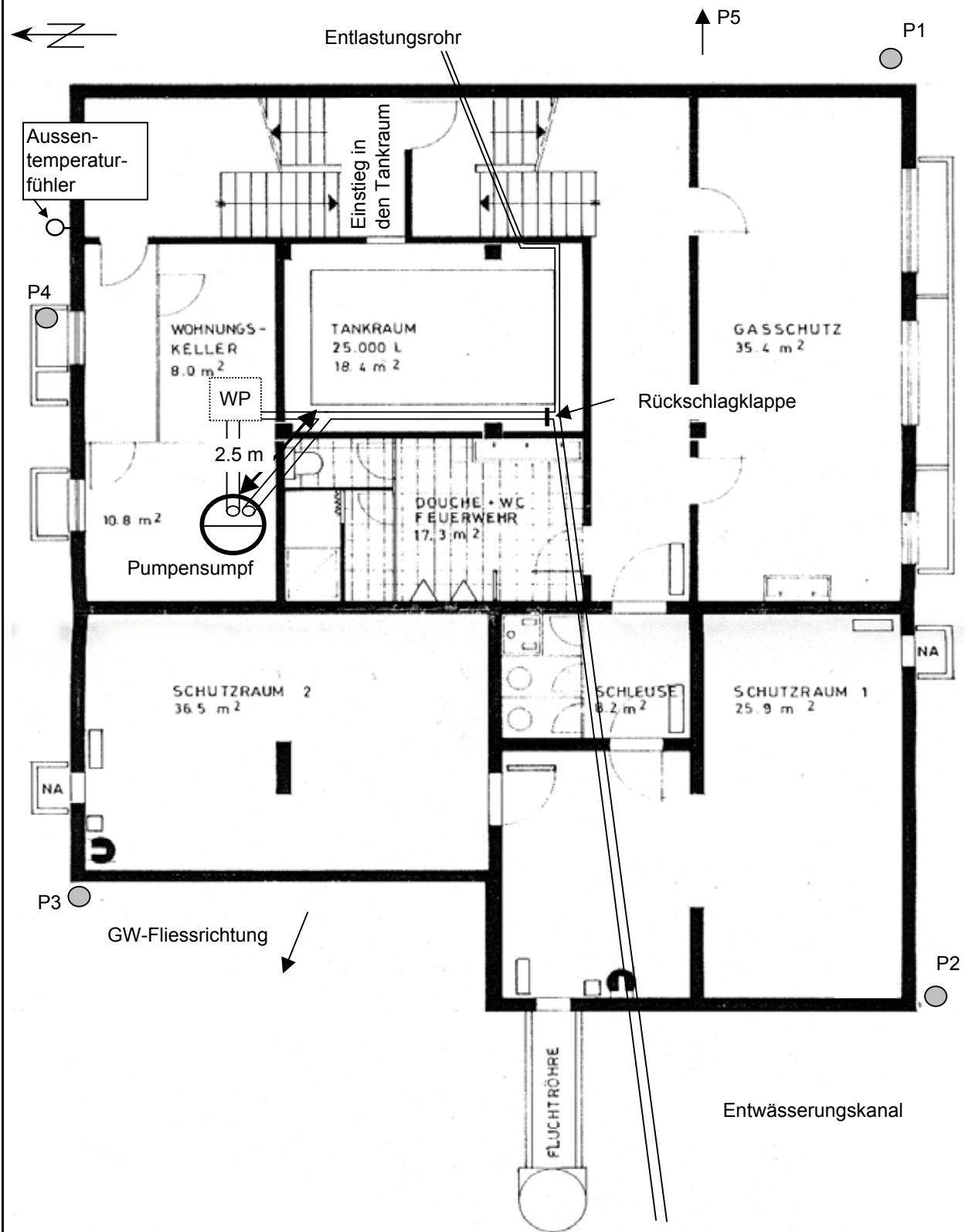
17.06.2004

WP-Anlage Feuerwehrmagazin und
Wohnungen, Sisseln

1:500

EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

Grundriss Untergeschoss
Übersicht über das Entwässerungskonzept und die Lage der Piezometer P1 bis P5



A 387
19.12.2002



WP-Anlage Feuerwehmagazin und
Wohnungen, Sisseln

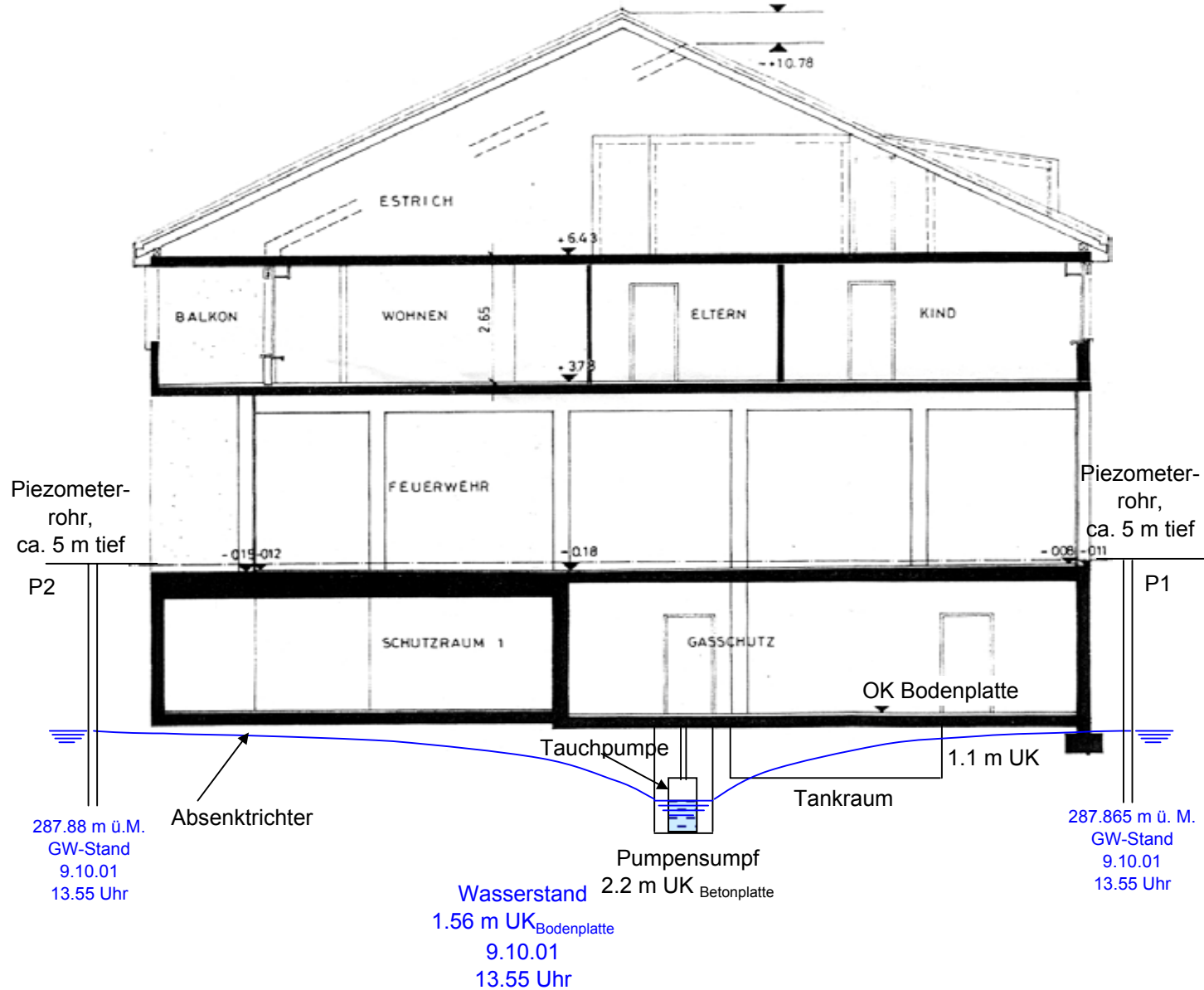
nicht
masstäblich

EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

Schnitt durch das Haus von Süden gesehen

W

E



Aarau, 17.06.2004

A 387

WP-Anlage Feuerwehrmagazin
und Wohnungen, Sisseln

Massstab:
ca. 1:125

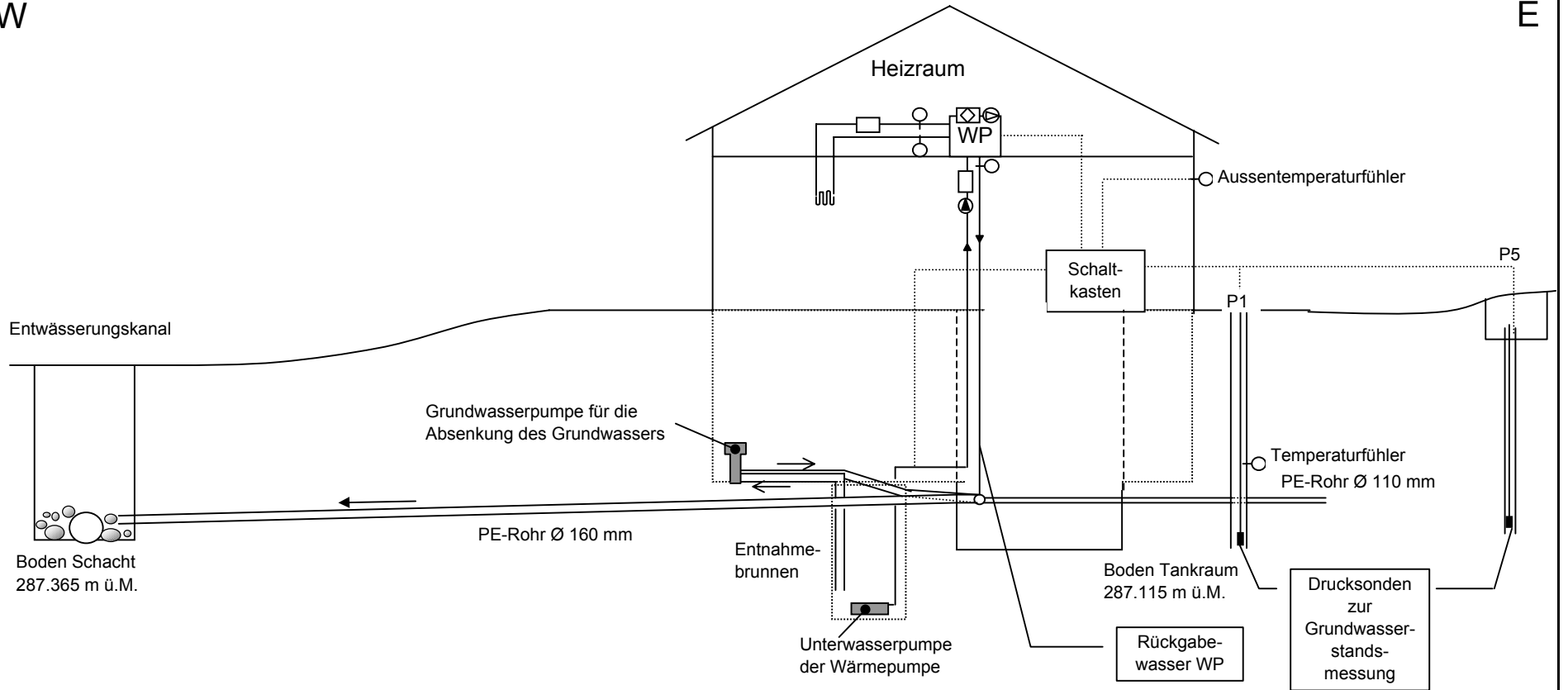
EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt



Schnitt durch die Grundwasserabsenkungs- und Wärmepumpenanlage / Lage der Entwässerung

W

E



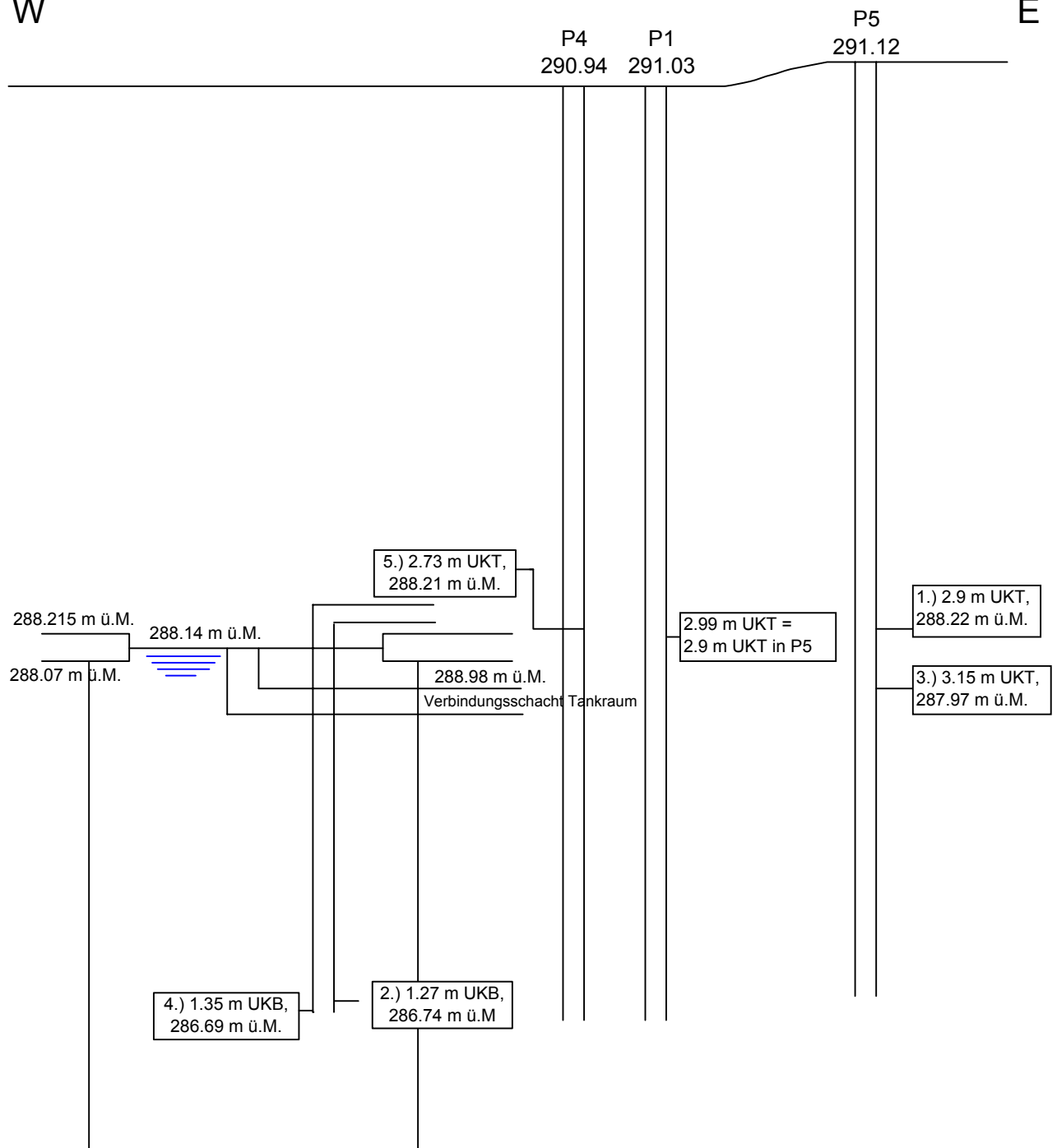
Legende:

- Durchflussmesser (Wärmezähler) / Primär-, Sekundärkreislauf
- Temperaturfühler (Entnahme-, Rückgabeburgen)
- Stromverbrauchszähler WP
- Stromverbrauchszähler Umwälzpumpe Primärkreislauf
- Betriebsstundenzähler

Regelschema

W

E



- 1.) in P5: Schaltung bei 288.22 m ü.M. -> max. Förderung, 500 l/min
- 2.) im Schacht: Schaltung bei 286.74 m ü.M. -> 345 l/min
- 3.) in P5: Abschalten bei 287.97 m ü.M. -> Abschalten
- 4.) im Schacht: Abschalten bei 286.69 m ü.M. -> Abschalten
- 5.) in P4: Alarmauslösung bei 288.21 m ü.M. -> Alarm

A 374

17.06.2004

Wärmepumpen-Anlage Feuerwehrmagazin und
Wohnungen, Sisseln

EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

Photodokumentation Grundwasseranlage in Sisseln

Datensammler

Schaltschrank

Wärme-
pumpe

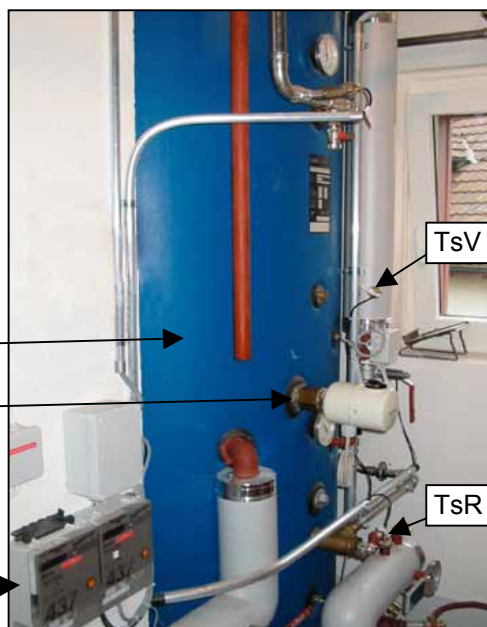
Wärmepumpe der Firma Striega
Therm AG (GWZ 20.1) mit Vor- und
Rücklauf. Im Hintergrund die Heiz-
und Brauchwarmwasserverteilung

TsV, TsR =
Temperatur-
fühler sekundär
Vorlauf,
Rücklauf

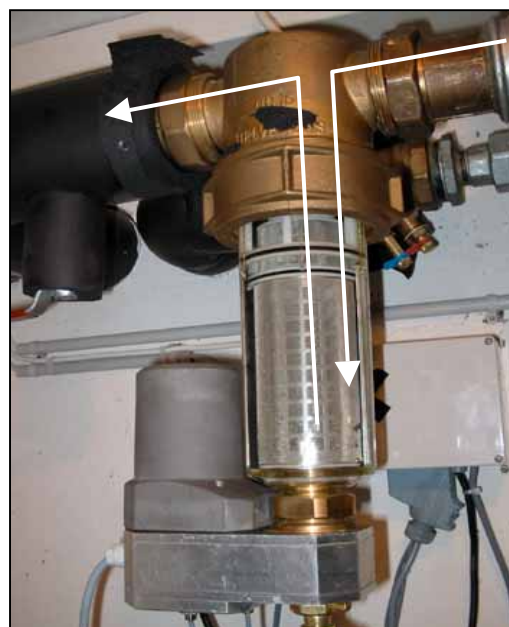
Speicher

Elektroeinsatz

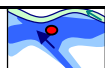
Wärmezähler
sekundär und
Brauchwarm-
wasser



Speicher mit Elektroeinsatz und
Wärmezählern



Automatischer rückspülbarer Filter im
Vorlauf des Primärkreislaufes



Photodokumentation Grundwasseranlage in Sisseln

Überlauf zum
Entwässerungskanal

Leitungsrohr der
Grundwasserpumpe für
die Absenkung des
Grundwassers

Leitungsrohr der
Unterwasserpumpe für
die Wärmepumpe



Grundwasserschacht im Feuerwehrgebäude mit Pumpprohren und Regelschwimmern

Unterwasserpumpe für die
Wärmepumpenanlage



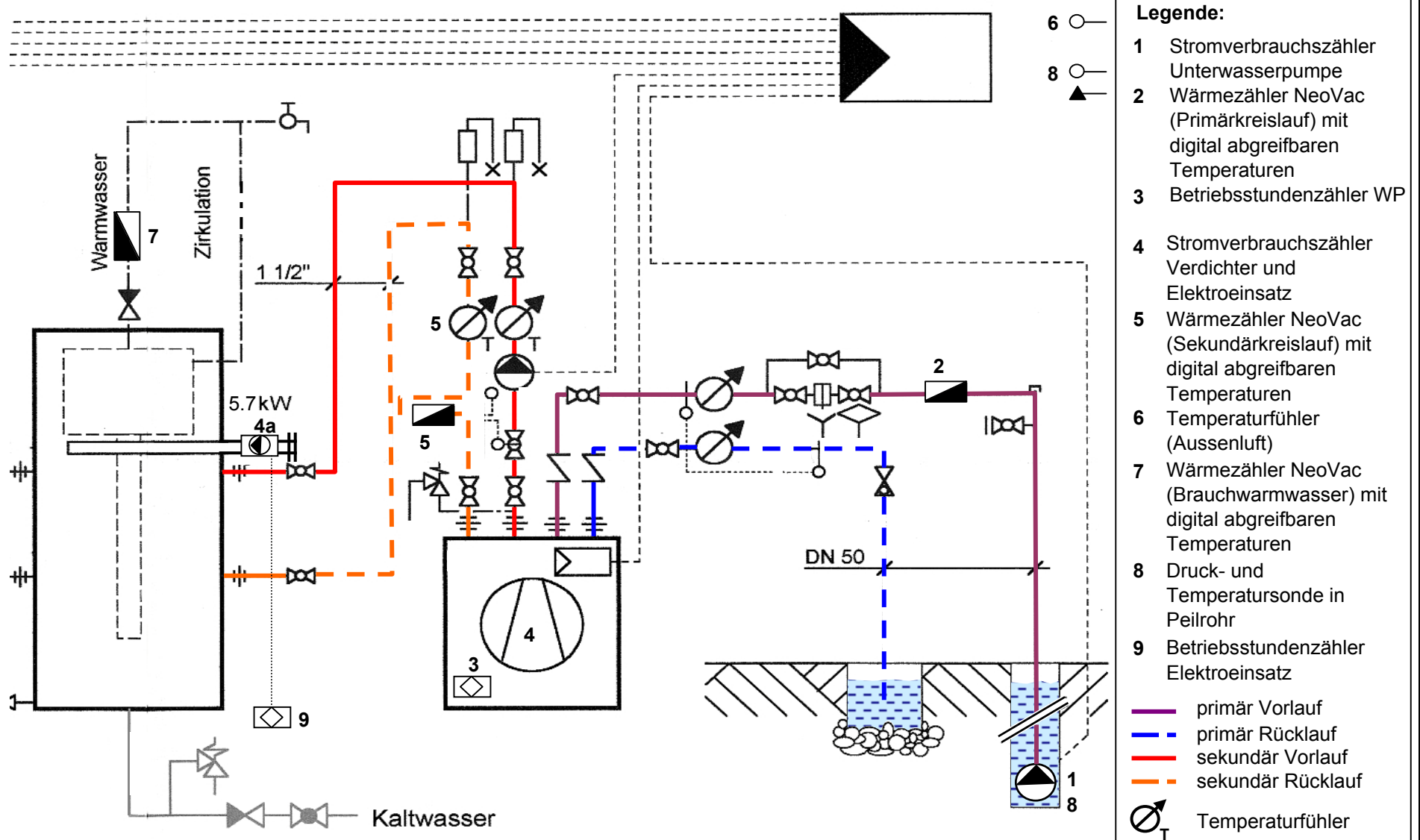
Pumpprohre und Regelschwimmer



Grundwasserabsenkpumpe im
Feuerwehrgebäude mit Steuerkasten
und Leitungsrohren

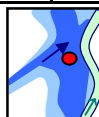


Prinzipschema Wärmeerzeugung Grundwasser-Wärmepumpenanlage im Feuerwehrgebäude in Sisseln



2, 5, 7 Wärmezähler NeoVac SC 437 AT/2
 6 Temperatursonde PT 100 Durchmesser 6 mm

1, 4, 4a Stromverbrauchszähler EMU 32x1M inkl. drei Lochstromwandler



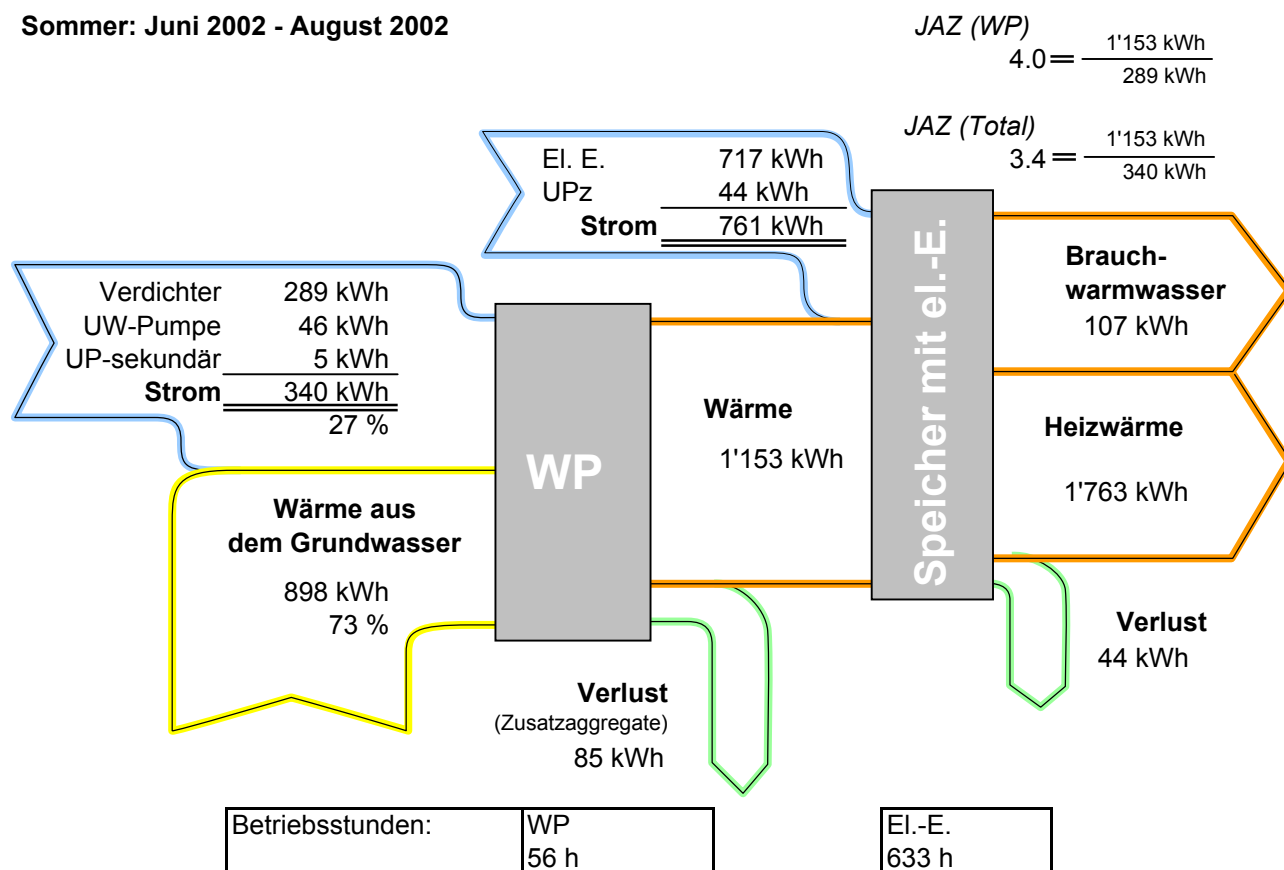
Zusammengefasste Energie- und Leistungsdaten

Monat	Wärme- entzug	Strom				Strom total	Heiz- wärme	Strom El.-E.	Brauch- wärme	Verlust	JAZ		Betriebsstunden	
		Verdichter	UWP	UPs	UPz						WP	WPA	WP	El.-E.
	gemessen kWh	gemessen kWh	gemessen kWh	berechnet kWh	berechnet kWh	kWh	gemessen kWh	gemessen kWh	gemessen kWh	kWh			gemessen h	gemessen h
Juni 02	310	95	16	2	14	127	403	233	40	34	4.2	3.6	19	211
Juli 02	288	81	15	2	15	112	357	244	40	44	4.4	3.7	18	211
August 02	300	113	15	2	15	144	393	240	27	51	3.5	3.0	19	211
September 02	1'040	329	42	5	14	391	1'357	275	83	74	4.1	3.6	63	211
Oktober 02	2'832	851	98	14	15	978	3'657	331	36	154	4.3	3.8	168	211
November 02	3'464	971	116	17	14	1'118	4'332	407	39	251	4.5	3.9	200	220
Dezember 02	5'505	1'838	235	30	15	2'118	7'182	388	47	441	3.9	3.4	354	220
Januar 03	7'055	2'408	284	39	15	2'746	9'244	312	49	557	3.8	3.4	456	217
Februar 03	6'806	2'349	275	37	13	2'675	8'954	275	43	527	3.8	3.4	441	197
März 03	4'410	1'441	176	24	15	1'656	5'733	310	44	332	4.0	3.5	280	221
April 03	2'938	958	119	16	14	1'107	3'821	248	39	224	4.0	3.5	187	206
Mai 03	1'150	388	50	6	15	459	1'535	228	39	74	4.0	3.5	76	229
Juni 03	227	88	13	1	14	117	301	193	34	43	3.4	2.9	16	203
Juli 03	253	94	13	1	15	123	329	202	33	47	3.5	3.0	17	216
August 03	237	89	13	1	15	118	313	204	32	42	3.5	3.0	16	218
September 03	1'074	342	45	6	14	407	1'393	214	37	88	4.1	3.5	68	252
Oktober 03	3'620	1'135	146	20	15	1'316	4'648	400	40	288	4.1	3.6	232	183
November 03	4'466	1'473	178	25	14	1'690	5'867	316	48	289	4.0	3.5	290	203
Dezember 03	6'609	2'180	263	36	15	2'493	8'674	314	51	429	4.0	3.5	419	224
Januar 04	6'603	2'185	269	36	15	2'504	8'681	321	45	426	4.0	3.5	418	212
Februar 04	5'289	1'717	228	28	14	1'987	6'997	324	40	279	4.1	3.5	335	215
März 04	5'484	1'630	195	25	15	1'865	7'108	316	43	241	4.4	3.8	295	209
April 04	3'256	966	114	15	14	1'110	4'213	325	39	153	4.4	3.8	179	217
Mai 04	1'950	587	70	9	15	681	2'531	325	33	100	4.3	3.8	109	217
Jun 02 - Aug 02	898	289	46	5	44	384	1'153	717	107	129	4.0	3.4	56	633
Sep 02 - Mai 03	35'201	11'533	1'395	189	131	13'248	45'815	2'774	419	2'634	4.0	3.5	2'225	1'932
Jun 03 - Aug 03	717	271	39	4	44	358	943	599	99	132	3.5	3.0	49	637
Sep 03 - Mai 04	38'351	12'215	1'508	199	132	14'054	50'112	2'855	376	2'293	4.1	3.6	2'345	1'932
Jun 02 - Mai 03	36'099	11'822	1'441	194	175	13'632	46'968	3'491	526	2'763	4.0	3.5	2'281	2'565
Jun 03 - Mai 04	39'068	12'486	1'547	203	176	14'412	51'055	3'454	475	2'425	4.1	3.6	2'394	2'569
Jun 02 - Mai 04	75'167	24'308	2'988	397	351	28'044	98'023	6'945	1'001	5'188	4.0	3.5	4'675	5'134

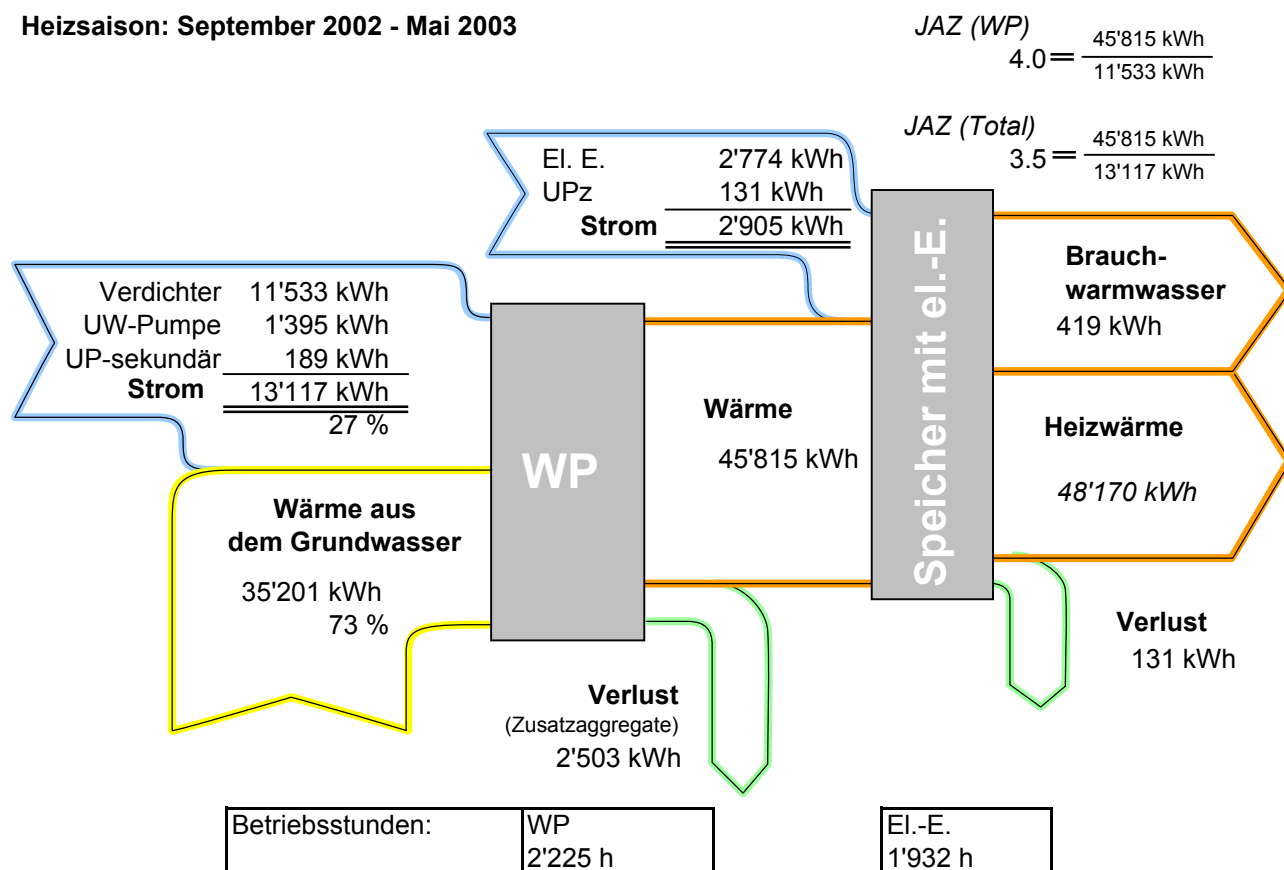
El.-E. = Elektro-Einsatz, UPs = Umwälzpumpe sekundär, UWP = Unterwasserpumpe, WP = Wärmepumpe, WPA = Wärmepumpenanlage, UPz = Umwälzpumpe Zirkulation

Energiebilanz

Sommer: Juni 2002 - August 2002



Heizsaison: September 2002 - Mai 2003

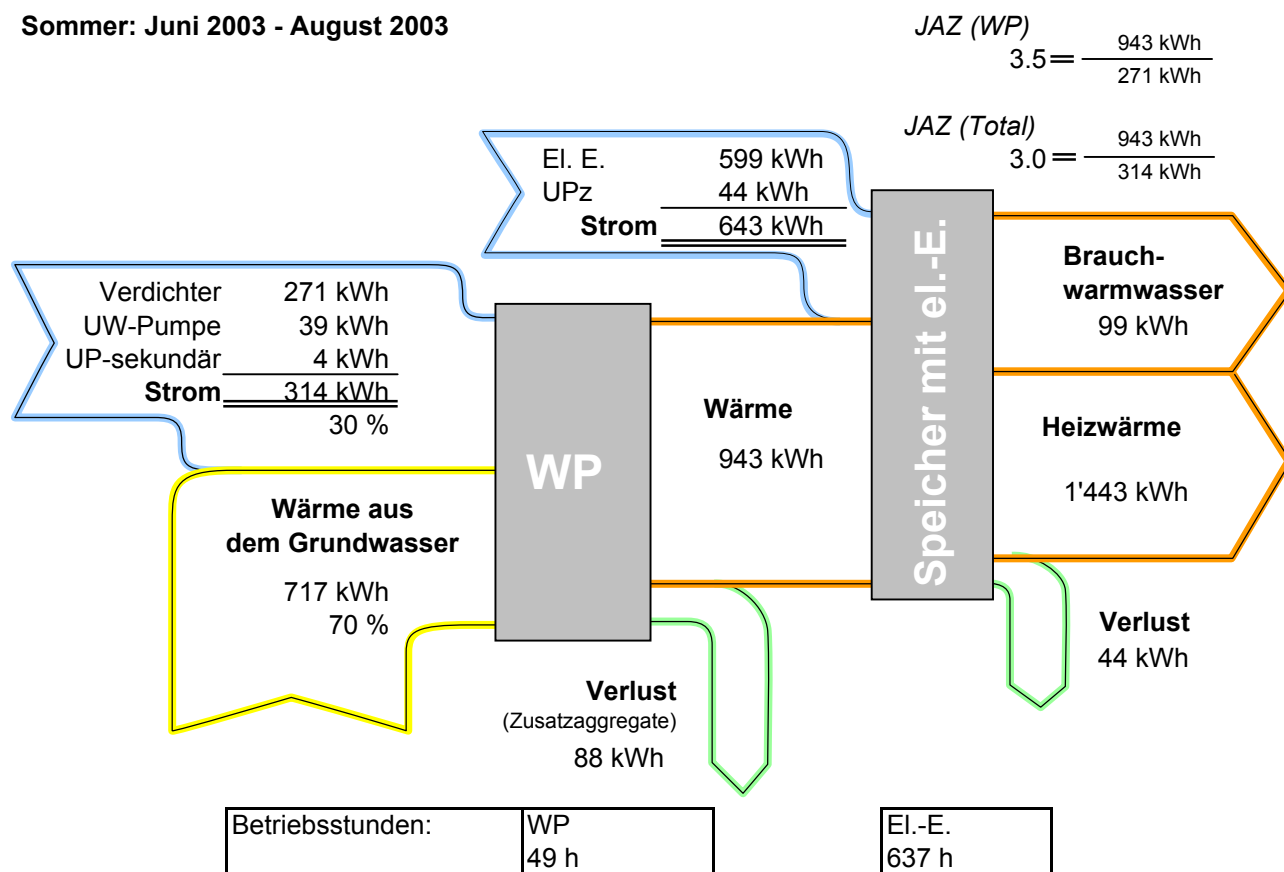


el.-E. = elektro-Einsatz, JAZ = Jahres-Arbeitszahl, UP = Umwälzpumpe, UPz = Umwälzpumpe Zirkulation, UW = Unterwasser, WP = Wärmepumpe

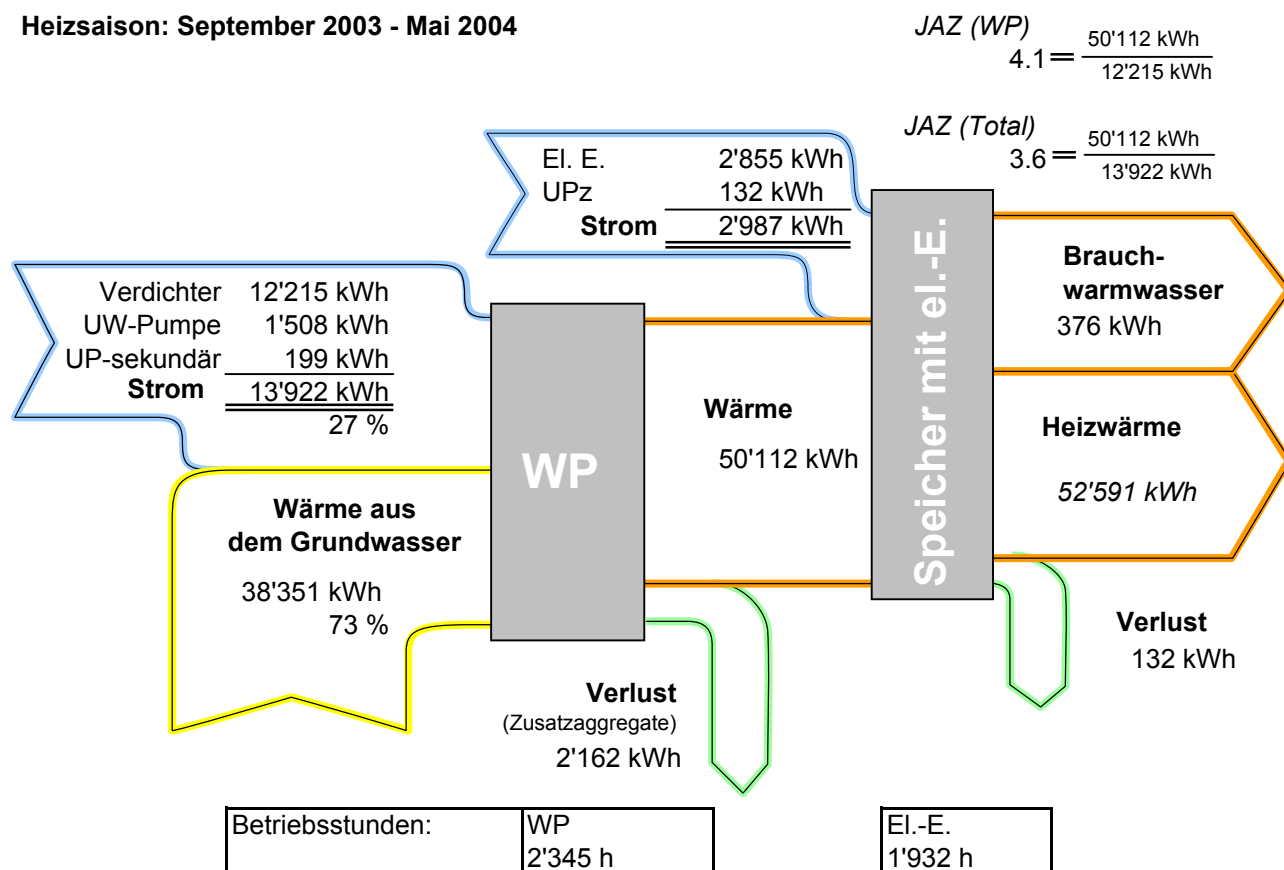


Energiebilanz

Sommer: Juni 2003 - August 2003



Heizsaison: September 2003 - Mai 2004



El.-E. = elektro-Einsatz, JAZ = Jahres-Arbeitszahl, UP = Umwälzpumpe, UPz = Umwälzpumpe Zirkulation, UW = Unterwasser, WP = Wärmepumpe

A 374

Aarau, 17.06.2004



Wärmepumpen-Anlage Feuerwehrmagazin und
Wohnungen, Sisseln

EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

Durchschnittstemperaturen und Wärmebilanz Juni 2002 - Mai 2004

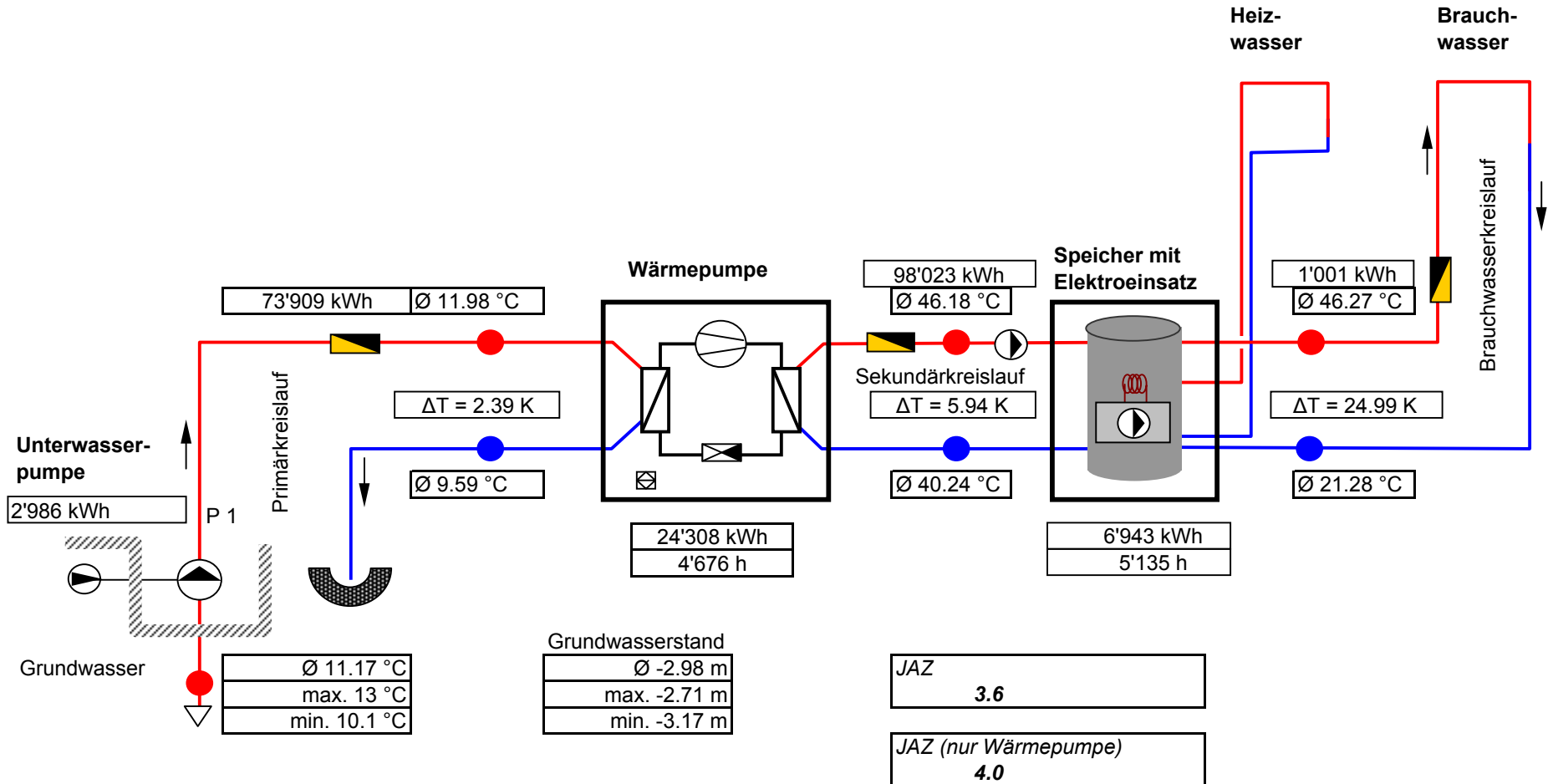
Aarau, 03.09.2004

A 387



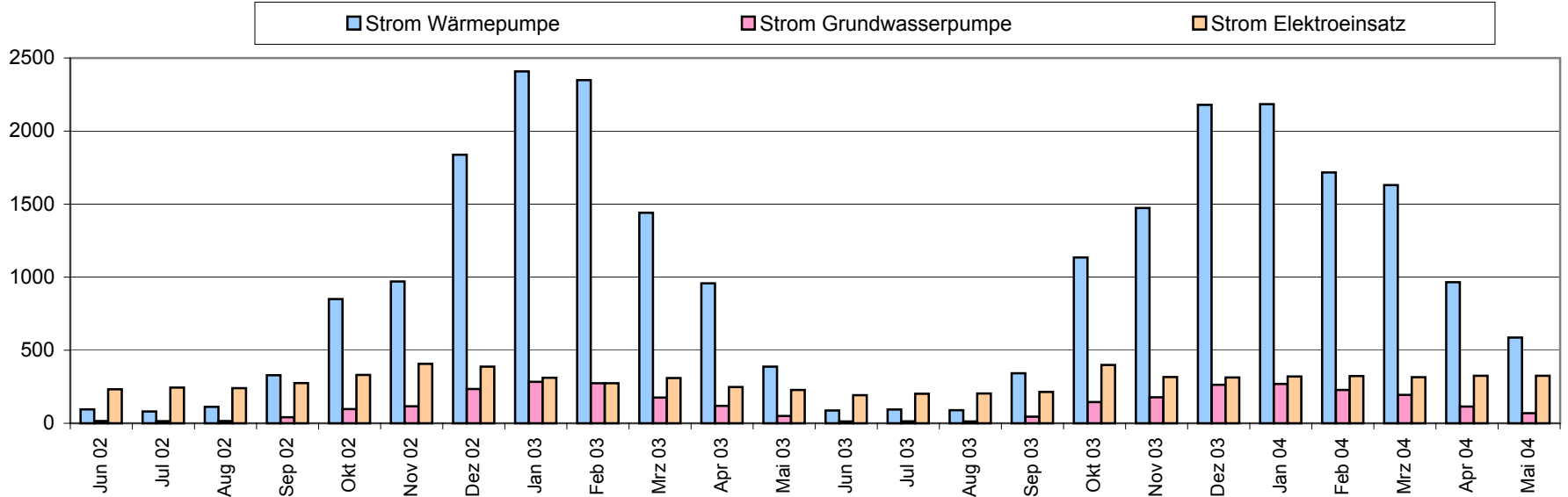
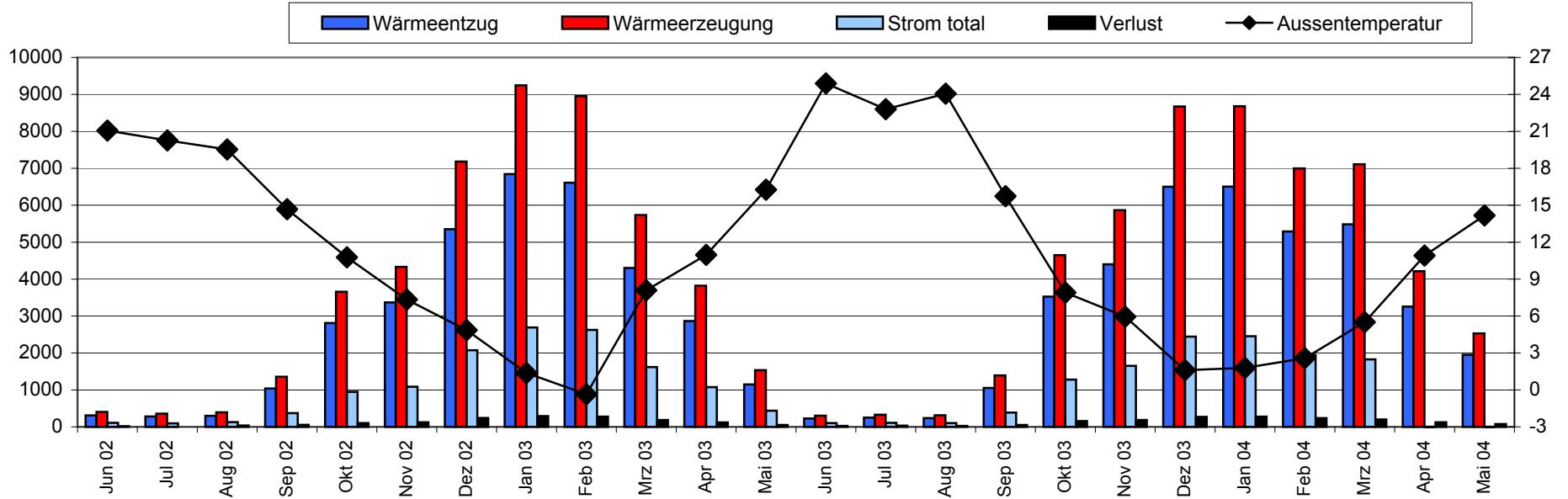
WP-Anlage Feuerwehrmagazin
und Wohnungen, Sisseln

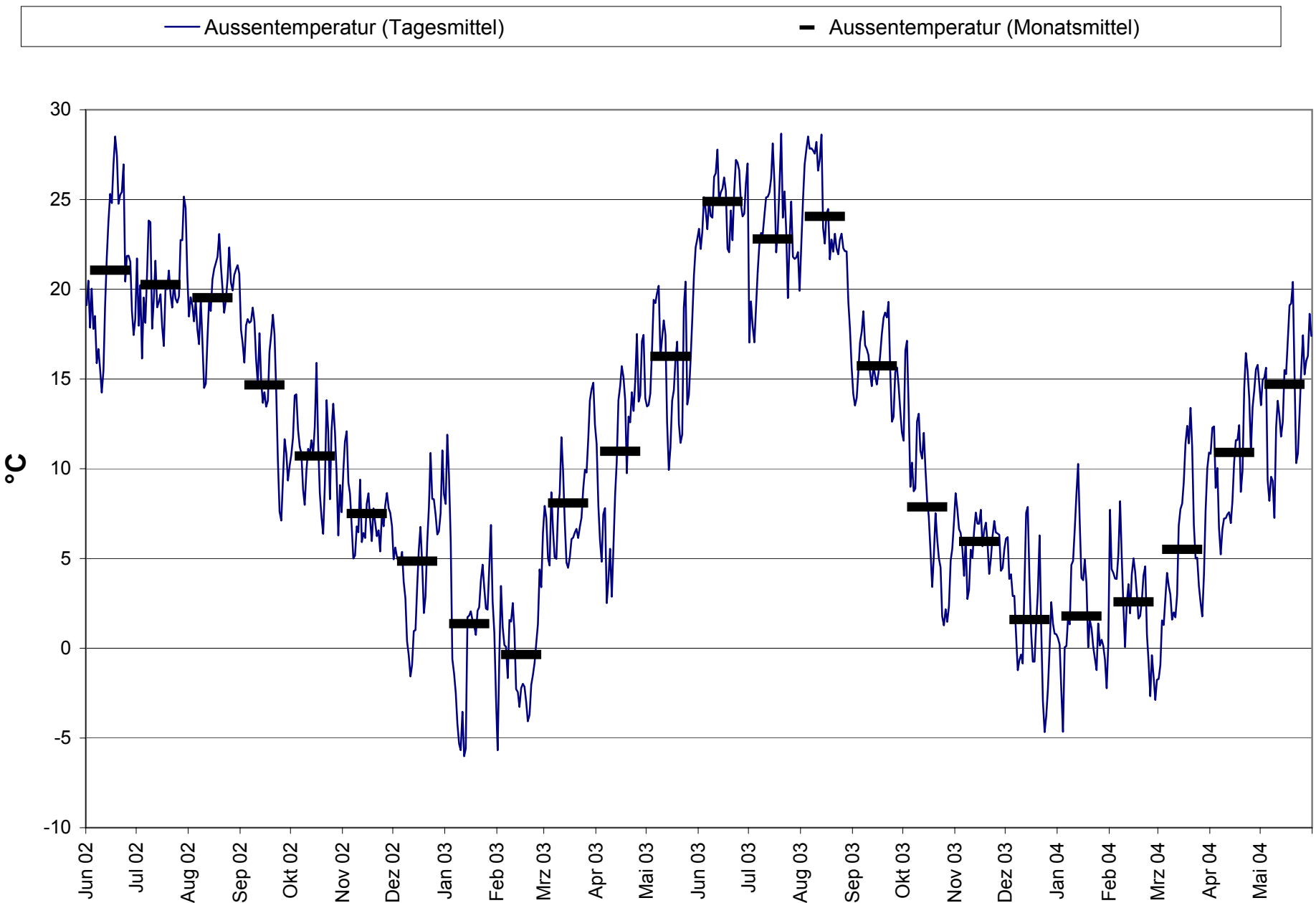
EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt





Wärmebilanz im Balkendiagramm



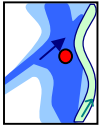


A 387
Aarau, 17.06.2004

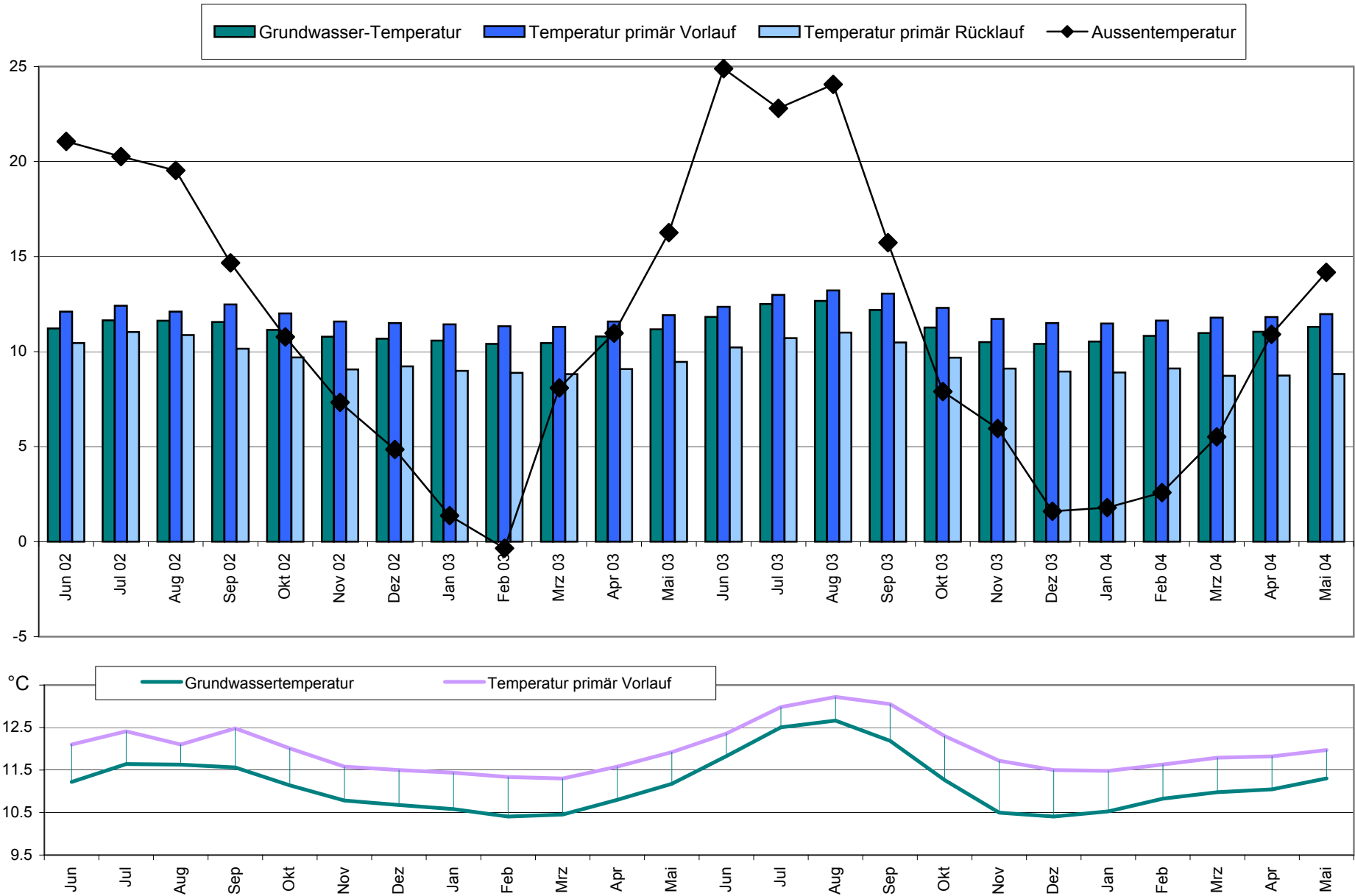


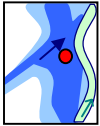
WP-Anlage Feuerwehrmagazin
und Wohnungen, Sisseln

EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

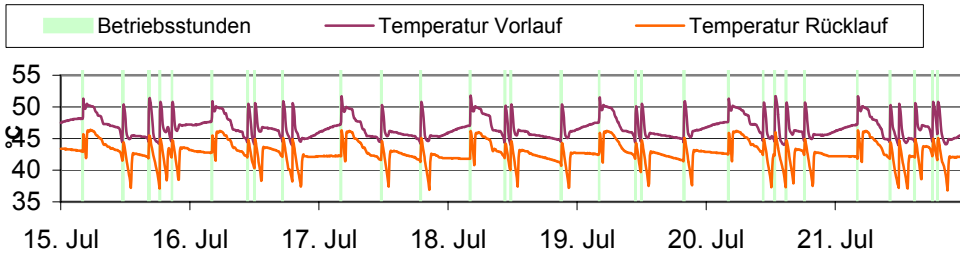
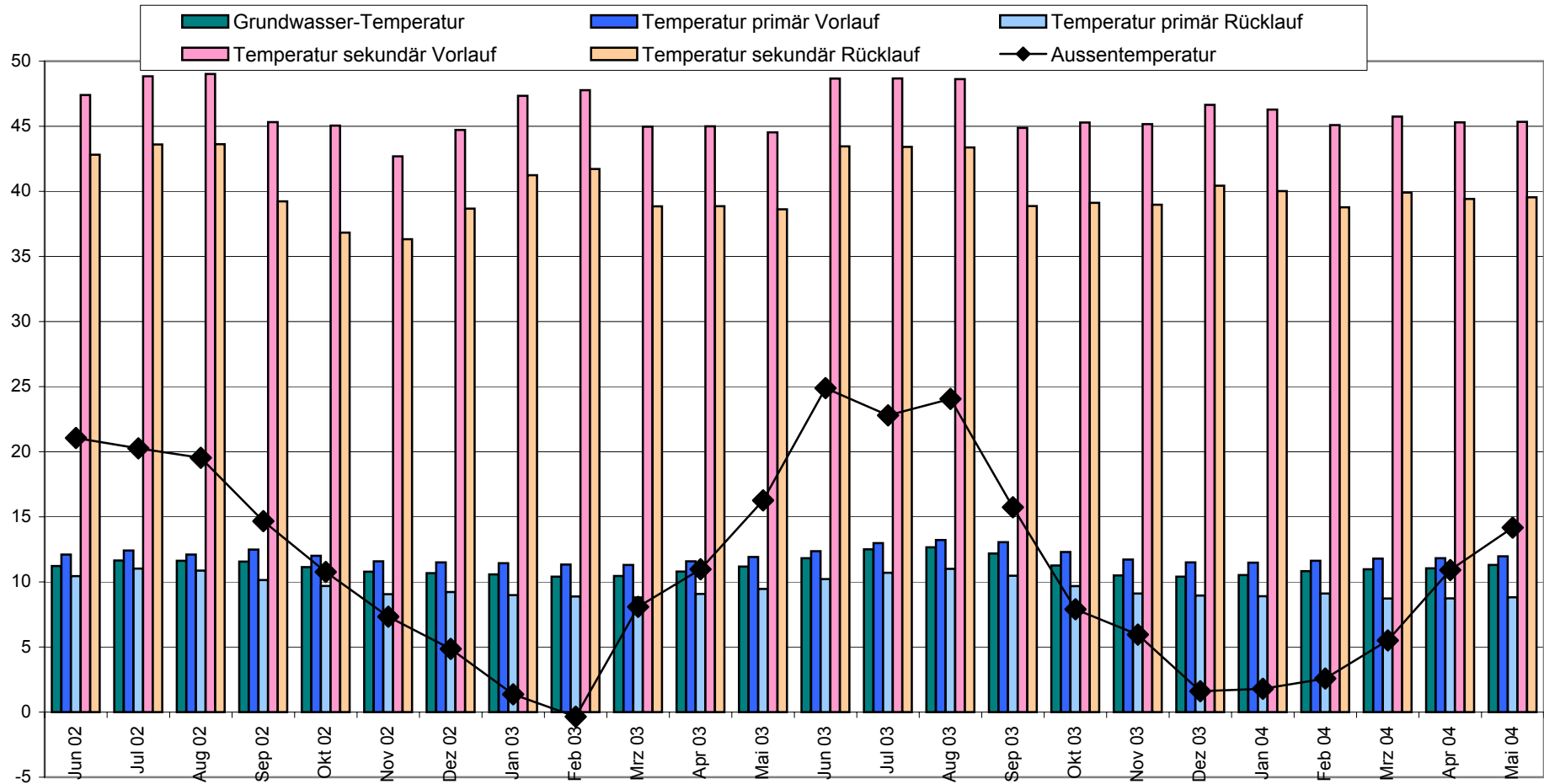


Temperaturverhältnisse des Grundwassers, Aussentemperatur (Monatsmittel)

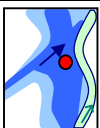




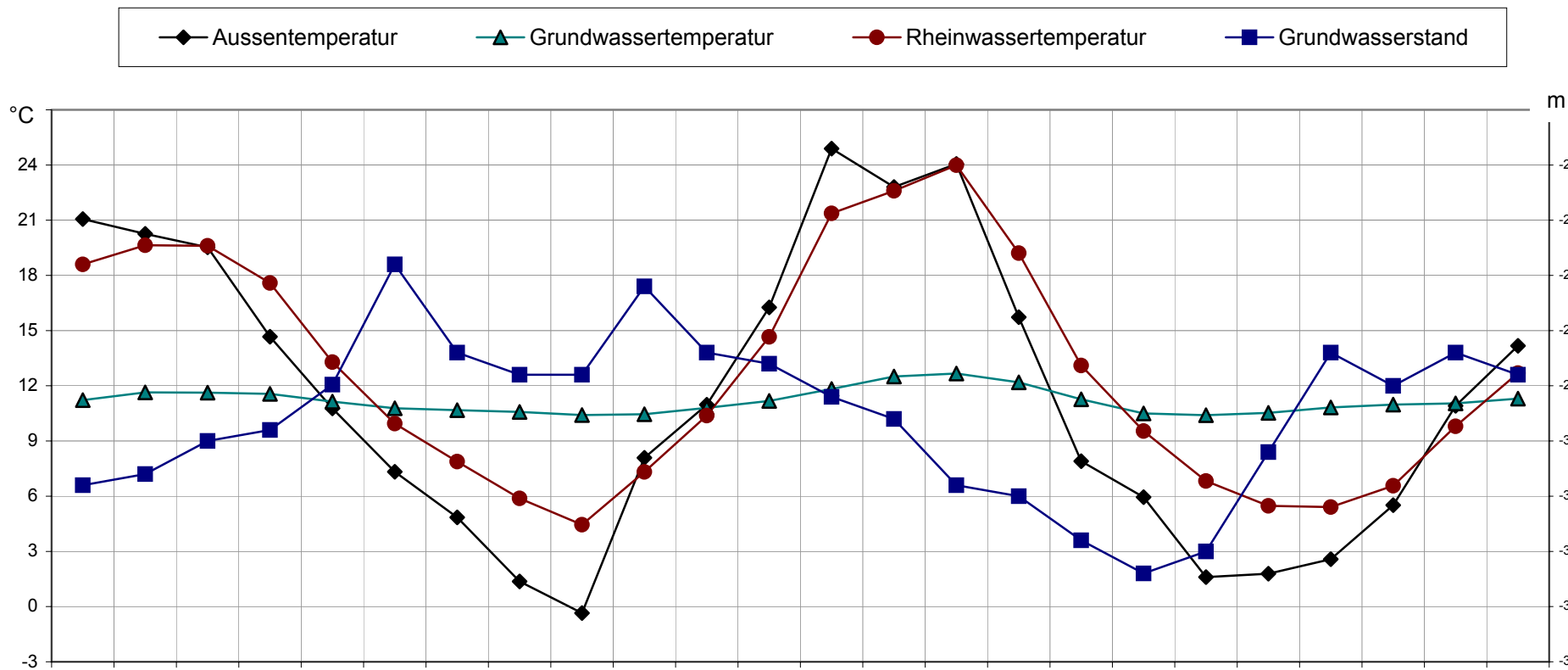
Temperaturverhältnisse Vor- und Rücklauf, Aussentemperatur (Monatsmittel)

**Sekundärkreislauf**

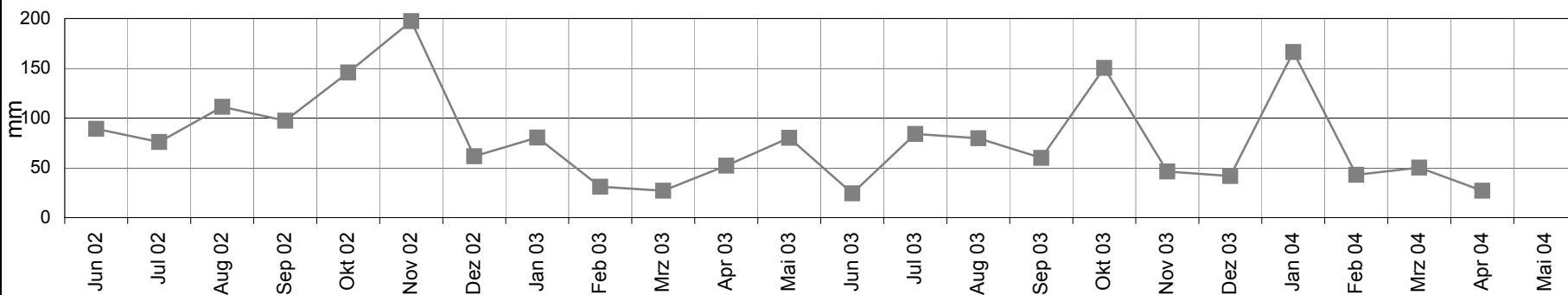
Detail (15. Juli - 22. Juli 2003) der Vorlauf- und Rücklauftemperaturen (Einzelwerte)



Grundwasserverhältnisse (Monatsmittel)

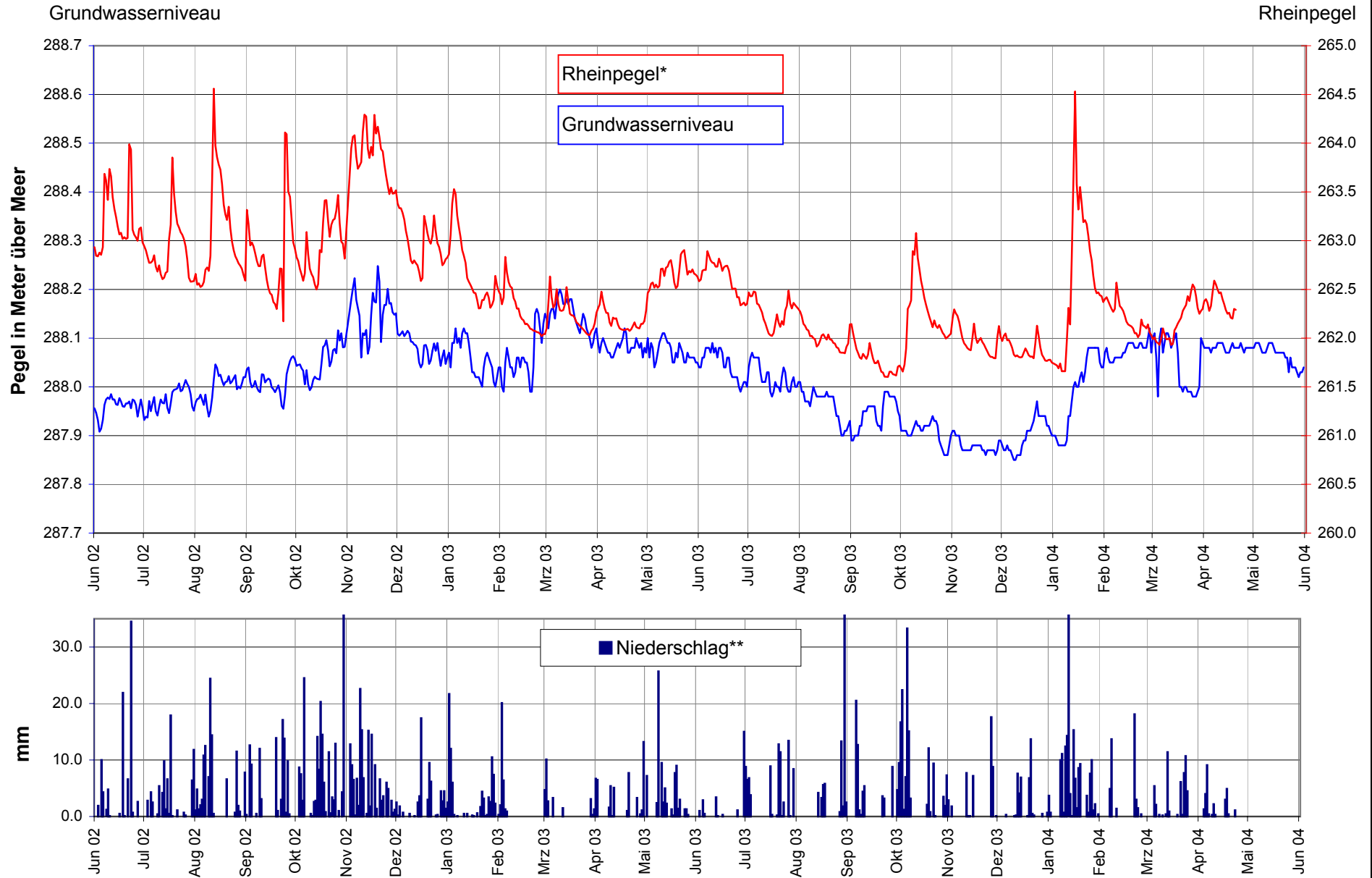


Niederschlag in mm (Messstation Buchs-Aarau)





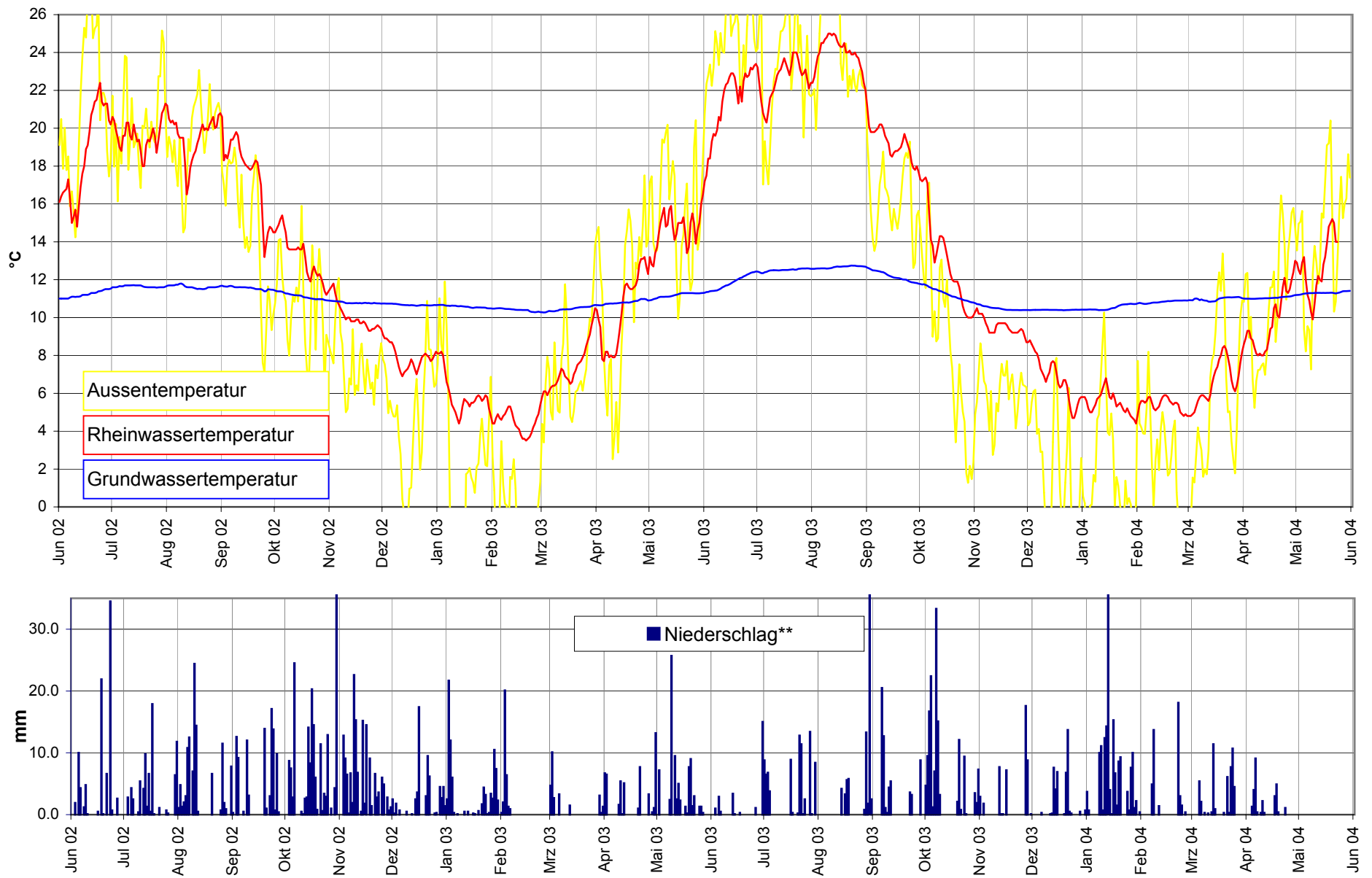
Vergleich Rheinpegel, Grundwasserniveau und Niederschlagsmengen (Tageswerte)

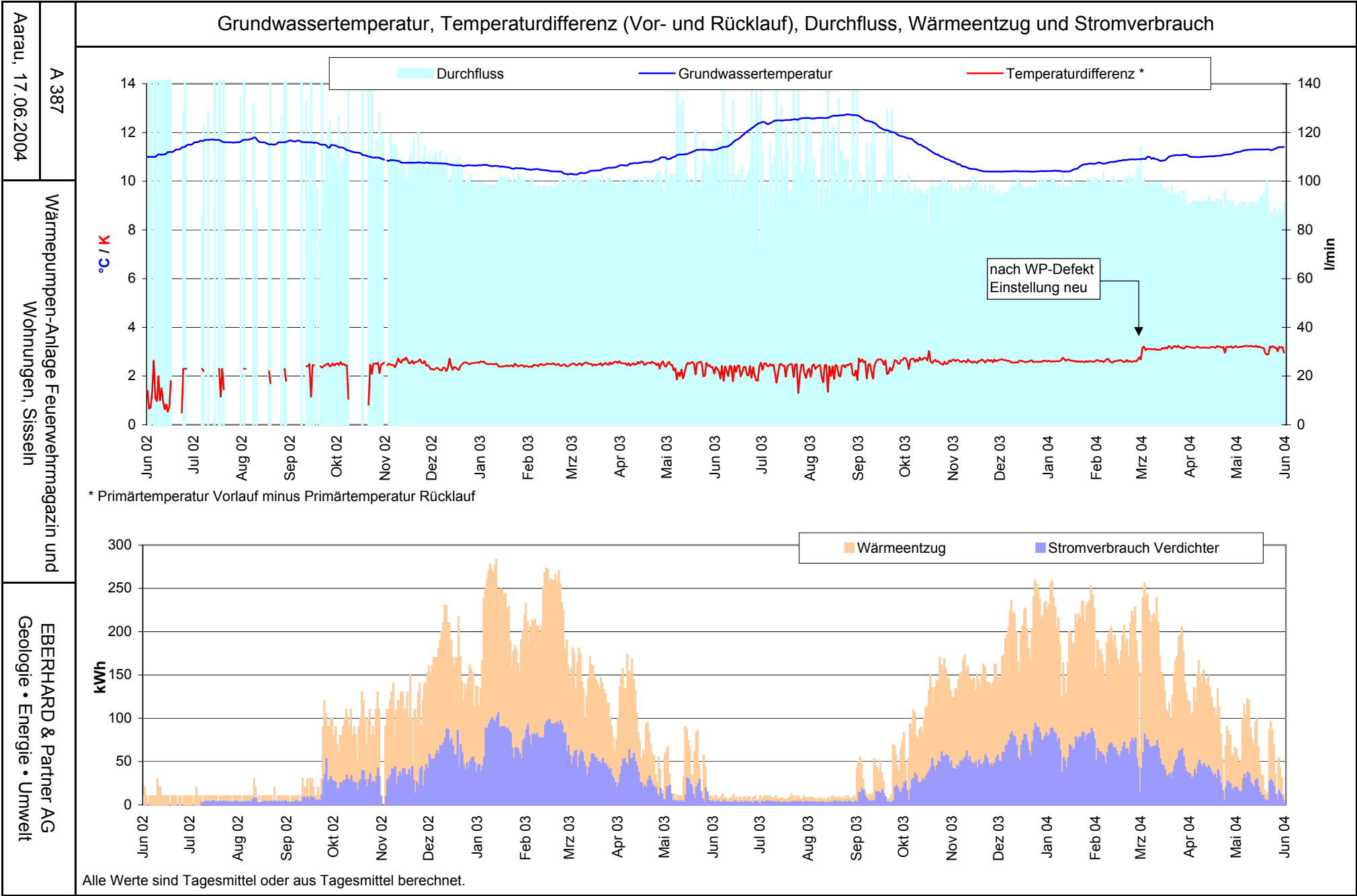


* Rheinpegel bei der Wassermessstation Rheinfelden, ** Niederschlag der Messstation Buchs-Aarau



Vergleich Rheinwassertemperatur, Grundwassertemperatur und Niederschlagsmengen (Tageswerte)





c 18.06.2004

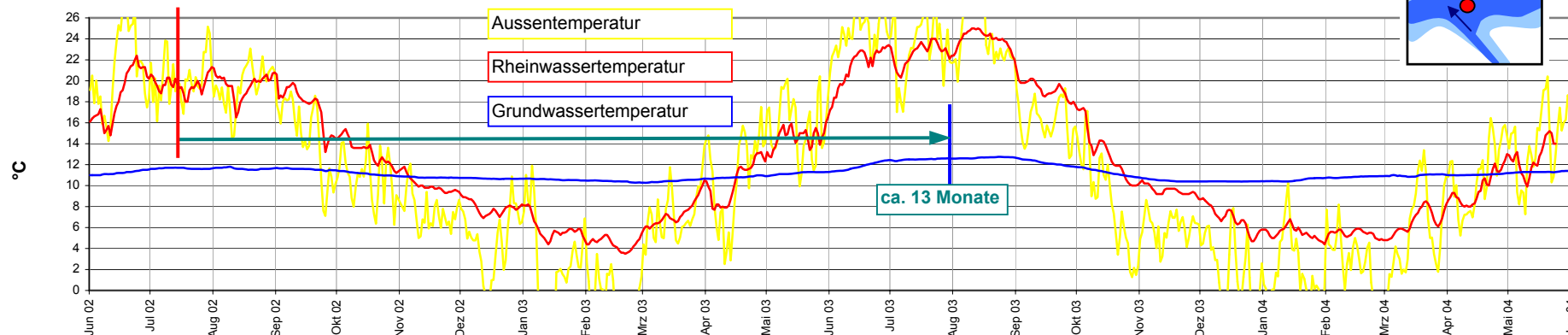
A 385 / 387

Wärmepumpen-Anlage Feuerwehrmagazin in
Sisseln und Pfarrhaus in Bremgarten

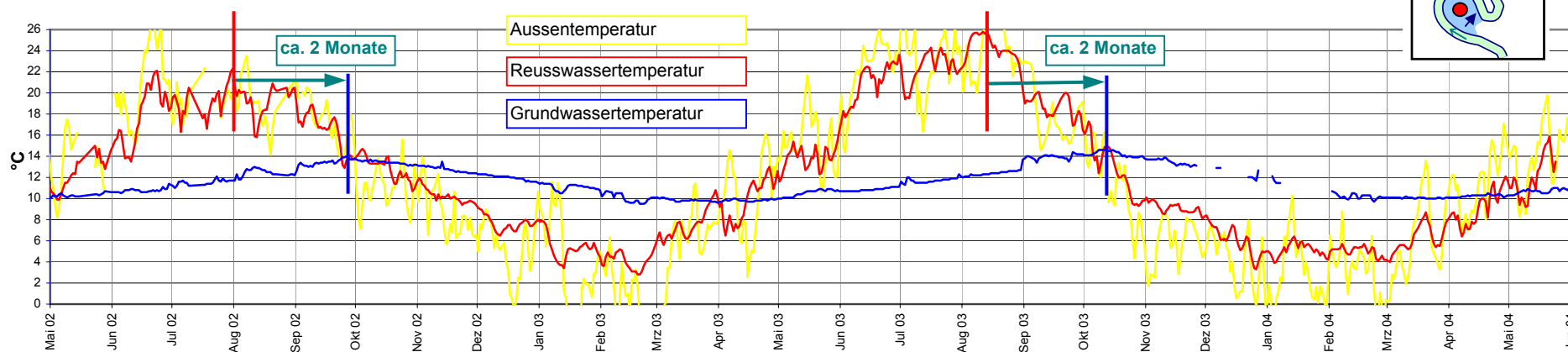
EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

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

Grundwasser und Rheintemperatur der Wärmepumpen-Anlage in Sisseln

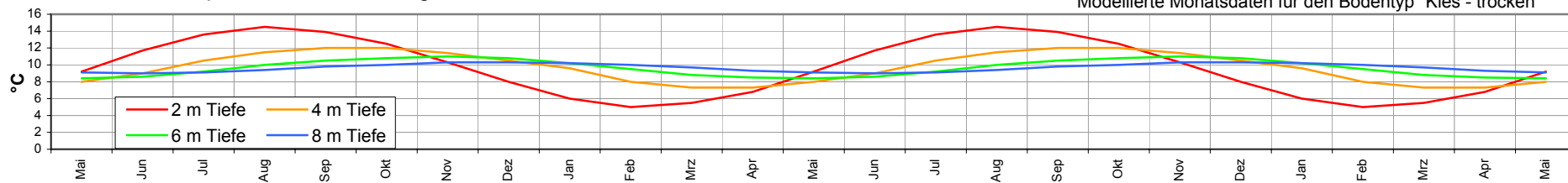


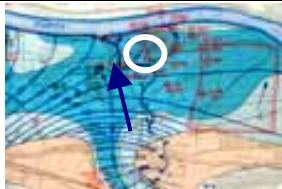
Grundwasser und Reusstemperatur der Wärmepumpen-Anlage in Bremgarten



Mittlerer Jahrestemperaturverlauf von ungestörtem Erdreich in verschiedenen Tiefen

Modellierte Monatsdaten für den Bodentyp "Kies - trocken"



Aarau 17.06.2004	A 385 / 387	Effizienzermittlung und -vergleich											
		Untiefes Grundwasser Sisseln 				Durch den Vorfluter beeinflusstes Grundwasser Bremgarten 							
Wärmepumpen-Anlage Feuerwehrmagazin in Sisseln und Pfarrhaus in Bremgarten		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 Wärmeplattentaucher	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					
EBERHARD & Partner AG Geologie • Energie • Umwelt		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 _{WP}	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 _{GWP}	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 _{WP} + E _{GWP}	335 kWh	12'928 kWh	310 kWh	13'723 kWh	721 kWh	24'463 kWh	112 kWh	28'642 kWh			
		Heizwärme Q _s	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 = Q _s / 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

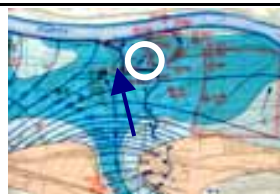
Aarau 17.06.2004

A 385 / 387

Wärmepumpen-Anlage Feuerwehrmagazin in Sisseln und Pfarrhaus in Bremgarten

EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

Untiefes Grundwasser Sisseln



Durch den Vorfluter beeinflusstes Grundwasser Bremgarten



Wärmepumpe: Hersteller, Typ
Wärmepumpe (Heizleistung, 0°C/35°C)

Stiega-Therm AG, GWZ 20.1
21.5 kW

Viessmann, Vitocal 300
28.4 kW

Wärmeentzug aus dem Grundwasser Q_p
Stromverbrauch Wärmepumpe E_{WP}
Betriebsstunden der WP h
Stromverbrauch der GW-Pumpe E_{GWP}
Heizwärme Q_s
JAZ (WP)

1. Jahr

2. Jahr

1. Jahr

2. Jahr

36'099 kWh
11'822 kWh
2'281 h
1'441 kWh
46'968 kWh

39'068 kWh
12'486 kWh
2'394 h
1'547 kWh
51'055 kWh

65'131 kWh
23'794 kWh
3'895 h
1'390 kWh
85'490 kWh

78'184 kWh
26'324 kWh
4'070 h
2'430 kWh
101'112 kWh

4.0

4.1

3.6

3.8

Für 100'000 kWh Heizwärme:

Stromverbrauch für WP = E_{WP} / Q_s
Stromverbrauch für GWP = E_{GWP} / Q_s
Stromverbrauch Wärmeerzeugung

25'170 kWh
3'068 kWh
28'238 kWh

24'456 kWh
3'030 kWh
27'486 kWh

27'832 kWh
1'626 kWh
29'458 kWh

26'034 kWh
2'403 kWh
28'438 kWh

Stromkosten bei 0.116 Fr. / kWh
Kostendifferenz pro Jahr

Fr. 3'275.65
Fr. 141.52

Fr. 3'188.38
Fr. 110.40

Fr. 3'417.18

Fr. 3'298.78

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

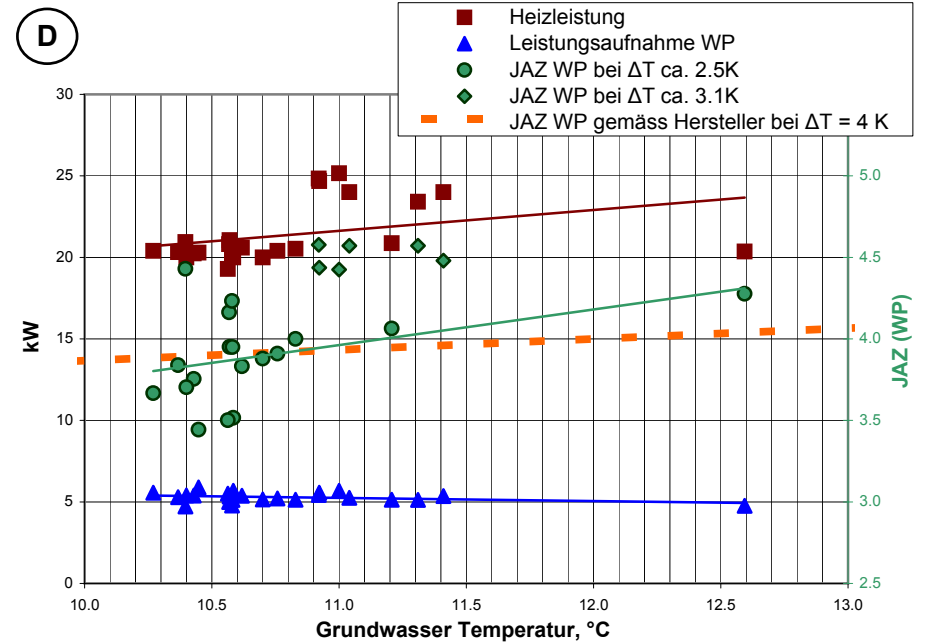
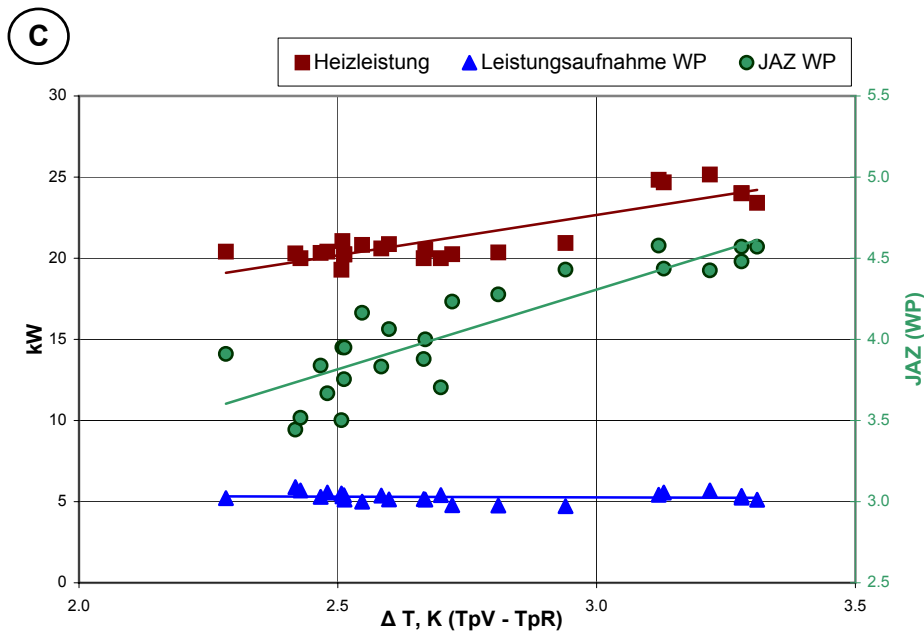
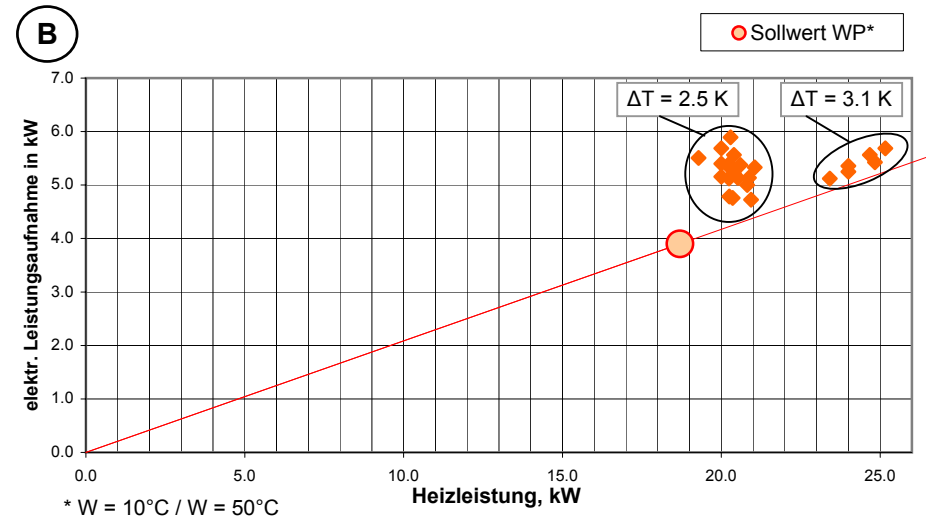
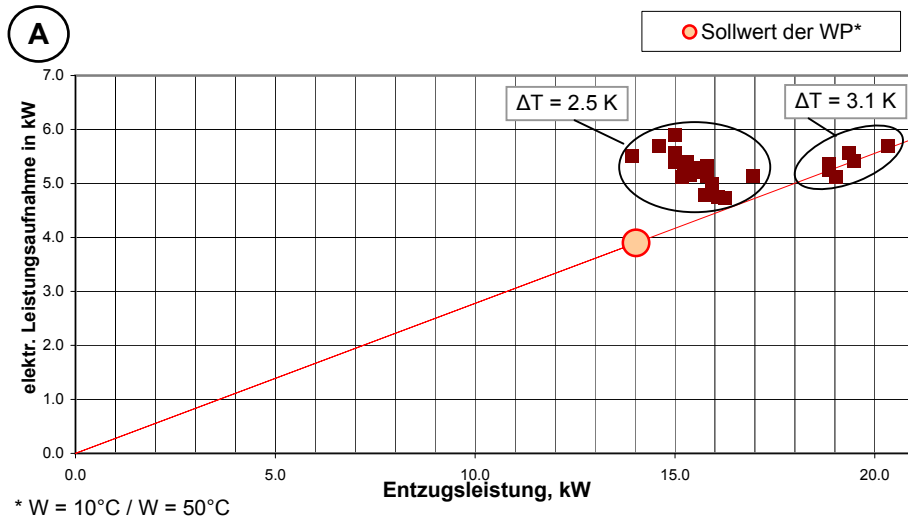
Die Entstehungskosten für die Wasserrfassung und die Wärmeerzeugung können für diese beiden Anlagen als gleich gross angenommen werden.

1. Jahr: Juni 2002 - Mai 2003, 2. Jahr: Juni 2003 - Mai 2004

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



Elektrische Leistungsaufnahme und die JAZ der Wärmepumpe bei unterschiedlichen Bedingungen



Die dargestellten Datenpunkte sind eine Auswahl von Betriebseinsätzen
WP = Wärmepumpe, TpV = Temperatur primär Vorlauf, TpR = Temperatur primär Rücklauf