

Schlussbericht September 2007

# Grundwasser-Wärmepumpe mit Rückgabe-Turbinierung

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

**INHALTSVERZEICHNIS**

<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>1</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>1</b>
<b>1. AUFTRAG</b>	<b>2</b>
<b>2. AUSGANGSLAGE / ZIEL</b>	<b>2</b>
<b>3. STANDORT / AUSLEGUNGSDATEN</b>	<b>3</b>
<b>4. ENERGIE</b>	<b>4</b>
<b>5. GEOLOGIE / HYDROGEOLOGIE</b>	<b>5</b>
<b>6. TURBINE</b>	<b>5</b>
<b>7. MESSKONZEPT / MESSINSTALLATION</b>	<b>6</b>
<b>8. MESSRESULTATE</b>	<b>6</b>
8.1. Stromverbrauch Wärmepumpe	6
8.2. Stromverbrauch Unterwasserpumpe	6
8.3. Stromerzeugung der Turbine	6
8.4. Betriebsstunden	7
<b>9. ENERGIEBILANZ UND JAHRESARBEITSZAHL</b>	<b>7</b>
<b>10. SOLL- IST VERGLEICH</b>	<b>7</b>
<b>11. AUSWERTUNG UND INTERPRETATION DER DATEN</b>	<b>8</b>
11.1. Vergleich Labor und Praxis	8
11.2. Turbinenleistung	8
<b>12. FUNKTIONSWEISE UND EFFIZIENZ DER ANLAGE</b>	<b>8</b>
<b>13. EFFIZIENZ UND WIRTSCHAFTLICHKEITSANALYSE</b>	<b>8</b>
<b>14. BETRIEBSERFAHRUNG</b>	<b>9</b>
<b>15. SCHLUSSFOLGERUNGEN</b>	<b>9</b>
<b>GRUNDLAGEN / LITERATUR</b>	<b>10</b>
<b>ANHANG</b>	<b>10</b>
<b>BEILAGEN</b>	<b>11</b>

## ZUSAMMENFASSUNG

Zur Effizienzsteigerung der Grundwasser-Wärmepumpenanlage im Bürogebäude an der Juchstrasse 3 in Würenlos wurde der Rückgabebrunnen mit einer Turbine versehen. Da das Grundwasser bei dieser Anlage aus einer Tiefe von 45 m gefördert werden muss, verbraucht man viel Strom für die Förderung desselben. Die installierte Turbine ist eine normale Unterwasserpumpe, aus welcher man 3 Laufräder entfernte. Die Effizienz der Anlage konnte so in einem ersten Schritt um 6% gesteigert werden. Die JAZ der Anlage beträgt ohne Turbineneinsatz 3.4 und mit Turbine 3.6. Im Hinblick auf den Anschluss weiterer Liegenschaften wurde die Anlage überdimensioniert und läuft somit zur Zeit noch nicht ideal. Wenn alle Liegenschaften an die Wärmepumpe angeschlossen sind, kann eine Effizienzsteigerung der Anlage von 16% und eine JAZ von 3.9 erwartet werden. Die für den Turbineneinsatz entstandenen Mehrkosten sind alsdann in rund 12 Jahren amortisiert.

Unter Berücksichtigung, dass für die Stromrückgewinnung keine auf die vorliegenden Gegebenheiten ausgerichtete Spezialanfertigung, sondern eine normale Unterwasserpumpe verwendet wurde, sind dies erstaunliche Ergebnisse.

Im Hinblick auf die vielerorts in grosser Tiefe liegenden Aquifere, welche sich aufgrund ihrer hohen Mineralisierung nicht für eine Verwendung als Trinkwasser eignen, wäre die Entwicklung einer speziell auf solche Situationen entwickelte Turbine im Sinne der Verringerung des Stromverbrauchs sehr sinnvoll.

## SUMMARY

For the improvement in efficiency of the ground water heat pump installation in the office building at the Juchstrasse number 3 in Würenlos, the restitution well was provided with a turbine. Because for this installation, the ground water has to be delivered from a depth of 45 meters, a lot of electricity is needed for the water conveyance. The installed pump is a normal underwater pump, from which three rotor discs were deleted. On this way the efficiency of the installation is in a first step improved by 6%. Without the application of the turbine the COP of the installation is 3.4 and with the turbine 3.6. With regard to the connection of further buildings, the installation was overdimensioned and is at the moment not running optimally. By the time all the buildings will be connected to the heat pump, there can be expected an improvement in efficiency of the installation of 16% and a COP of 3.9. The additional costs for the application of the turbine will be amortized within about twelve years.

In consideration of the fact that there was not used a custom product but a normal underwater pump, these results are very amazing.

With regard to the aquifers, in many places situated in huge depth, which are not suitable as drinking water because of the high mineralisation, the design of a special developed turbine for the decrease of the consumption of electricity would be very reasonable.

## 1. AUFTRAG

Im Zusammenhang mit der Grundwasserwärmepumpenanlage des Wohn- und Bürogebäudes an der Juchstr. 1 & 3 in Würenlos schlug die Firma EBERHARD & Partner AG, Aarau zur Rückgewinnung eines Teils des Stroms zur Förderung des in rund 45 m Tiefe liegenden Grundwassers (60 m tiefe Bohrung) die Realisierung einer Turbine im ebenfalls rund 60 m tiefen Rückgabebrunnen vor (Beilage 2). Gleichzeitig erstellte die Firma EBERHARD & Partner AG im Juni 2003 ein über 2 Jahre laufendes Überwachungsprogramm zur Effizienzermittlung und Optimierung der Rückgabeturbinierung. In der Folge reichte sie beim Bundesamt für Energie (BFE) ein Gesuch um finanzielle Unterstützung bei der Realisation der Turbine, der vorgeschlagenen Messanordnung, Tests, Datenerhebung und -auswertung ein. Aufgrund dieses Gesuches vom 24. Juni 2003 wurde der Firma EBERHARD & Partner AG mit Verfügung vom 17. Juli 2003, vom 5. August 2003 und vom 13. Oktober 2004 vom Bundesamt für Energie (BFE) der Auftrag zur Durchführung des vorgeschlagenen Messkonzeptes mit der dafür notwendigen zusätzlichen Anlageninstallation erteilt.

## 2. AUSGANGSLAGE / ZIEL

Die hier realisierte, mit umweltfreundlicher Erdwärme betriebene Heizanlage befindet sich an der Juchstrasse im Zentrum von Würenlos (Beilage 1 und 2).

Aufgrund der tiefen Lage des Grundwasserkörpers (Beilage 3 und 4) von ca. 45 m UKT ist die Effizienz der Anlage durch die ausgesprochen grosse Förderhöhe vermindert. Da auf den grundwasserführenden Kiesschichten (Schotter) mächtige, schlecht durchlässige Deckschichten liegen, musste für die Rückgabe des abgekühlten Grundwassers ebenfalls eine Bohrung realisiert werden.

Die Förderung des Grundwassers aus einer Tiefe von 58 m (Pumpenlage) - effektiv sind es nur 45 m, da der Schotter schon ab 45 m gesättigt ist - verbraucht viel Strom. Im Normalfall resultiert hieraus eine schlechte Effizienz der Anlage. In diesem Projekt wird nun zum ersten Mal überhaupt versucht, mittels einer Turbine im Rückgabebrunnen einen Teil dieses Förderstromes zurückzugewinnen und direkt wieder ins Stromnetz zurückzuspeisen. Mit dieser Anlagenkonstellation können somit in Zukunft auch Grundwassergebiete erschlossen und bewirtschaftet werden, in welchen das Grundwasser in grosser Tiefe liegt (Tiefenaquifere) und bis jetzt aufgrund der hohen Pumpkosten nicht realisiert werden konnten.

Ziele des Forschungsprojektes sind:

- Effizienzermittlung der zu einer Turbine umgebauten Unterwasserpumpe
- Vergleich des Stromverbrauches der Unterwasserpumpe mit der Stromproduktion der Turbine
- Effizienzvergleich der Anlage mit und ohne Turbine

Folgende Parameter werden automatisch in regelmässigen Abständen erfasst (Beilagen 7, 8 und 13):

- Stromverbrauch der Unterwasserpumpe (in kWh)
- Stromerzeugung der Turbine (in kWh)
- Netzzuleitung (Stromverbrauch der Unterwasserpumpe minus Stromerzeugung der Turbine (in kWh))

- Stromverbrauch der Wärmepumpe (in kWh)
- Betriebsstunden der Wärmepumpe (in kWh)

### Datenerfassung und Verarbeitung

Nach der Installation der Wärmepumpenanlage wurden die Daten vorerst vor Ort mit Zählern und ab dem 15. Juli 2005 mittels GSM (Global System for Mobile Communication) abgerufen. Die Messfrequenz ist von Beginn weg eine Messung alle 15 Minuten. Die Daten wurden von uns monatlich per GSM und der dazugehörenden Software (Com-Server) abgefragt. Die Messauswertung wird in eine Heiz- (Sep. – Mai) und in eine Sommerperiode (Jun. – Aug.) aufgeteilt.

## 3. STANDORT / AUSLEGUNGSDATEN

Die Wärmepumpenanlage befindet sich in Würenlos im MFH an der Juchstr. 3 und beheizt zur Zeit die Liegenschaft Juchstr. 3 (Neubau – Beilage 5) und Juchstr. 1 (Altbau). Es ist geplant, dass zwei weitere Liegenschaften, Landstrasse 70 + 74 (mit einer beheizbaren Fläche von total 664 m<sup>2</sup> mit einem Heizleistungsbedarf von 45.72 kW) an die Grundwasserfassung angeschlossen werden (Beilage 2). Der Heizleistungsbedarf der zur Zeit an die Heizanlage angeschlossenen Wohn- und Bürogebäude mit einer Gesamtfläche von zur Zeit 1'867 m<sup>2</sup> liegt bei total 60.57 kW. Die Anlage wird monovalent betrieben und das Brauchwarmwasser wird ebenfalls durch diese Anlage aufbereitet. Bei der im Heizungsraum im Keller eingesetzten Grundwasser-Wärmepumpe handelt es sich um eine Maschine der Firma CTC, Typ SWW ZR 2190c (2 Verdichter) mit einer maximalen Heizleistung von 69.6 kW (S 10°C/ W 35°C).

Baujahr der Anlage:	Juchstr. 3	2004
Anschluss an die Anlage:	Juchstr. 1	2007
Beheizte Fläche:	Juchstr. 3	1'643.3 m <sup>2</sup> (28 W/m <sup>2</sup> EBF)
	Juchstr. 1	224 m <sup>2</sup> (65 W/m <sup>2</sup> EBF)
	Total	1'867.3 m <sup>2</sup>
Tiefe der Bohrung (m):		61 m
Tiefe des Grundwasserspiegels:		45 m
Grundwassermächtigkeit:		13 m
Wärmeverteilung:	Juchstr. 3	Raumluf
	Juchstr. 1	Radiatoren
Heizleistungsbedarf der Häuser (-8°C Aussentemp.):		60.57 kW
Wärmepumpe:		
Max. Heizleistung WP (bei S 10°C/ W 35°C):		69.6 kW
Leistung Grundwasser (Verdampfer):		57.4 kW
<b>Leistung Kompressor:</b>		<b>12.2 kW</b>
Wärmepumpen Typ:		SWW ZR 2190c
Fabrikat:		CTC
Kältemittel:		R 134a
Grundwassertemperatur:		11.5 °C

Temperaturentnahme:	4 K
Unterwasserpumpe:	
Unterwasserpumpe:	Grundfos; SP 30-8
<b>Leistung Unterwasserpumpe</b>	
<b>(Nennleistung P2):</b>	<b>7.5 kW</b>
Fördermenge der Unterwasserpumpe:	392 l/min (23.5 m <sup>3</sup> /h)
Lage der Unterwasserpumpe:	58 m UK Schacht (UG)
Turbine:	Umgebaute Unterwasserpumpe
Unterwasserpumpe:	Biral; E6X50-6/7 + MC67
<b>Leistung Unterwasserpumpe</b>	
<b>(Nennleistung):</b>	<b>5.5 kW</b>
Anzahl Laufräder:	4 anstelle der ursprünglich 7 (3 wurden ausgebaut)
Typ der Laufräder:	radial
<b>Erreichte Ø Leistung auf dem</b>	
<b>Prüfstand (45 m, 23 m<sup>3</sup>/h):</b>	<b>1.1 kW</b>
Lage der Turbine:	45 m UK Schacht (UG)
Planung/ Beratung/ Installation:	Schuler + Partner AG, Neuenhof EBERHARD & Partner AG, Aarau

GW = Grundwasser, WP = Wärmepumpe

## 4. ENERGIE

Periode: Juni 2005 bis Mai 2007 (Beilagen 7 bis 13)

	Jahr	S* 05	HP** 05/06
	Jun 05 – Mai 06	Jun 05 – Aug 05	Sep 05 – Mai 06
Stromverbrauch (WP):	45'497 kWh/a	3'497 kWh	42'000 kWh
Stromverbrauch (UWP):	30'917 kWh/a	1'807 kWh	29'110 kWh
Stromproduktion (T):	4'714 kWh/a	274 kWh	4'440 kWh
Stromrückgewinnung:	15.2 %	15.2 %	15.3 %
Betriebsstunden WP:	3'725 h	218 h	3'507 h
JAZ (inkl. Turbine):	3.5	3.8	3.5
JAZ (ohne Turbine):	3.3	3.6	3.3

	Jahr	S* 06	HP** 06/07
	Jun 06 – Mai 07	Jun 06 – Aug 06	Sep 06 – Mai 07
Stromverbrauch (WP):	39'670 kWh/a	4'530 kWh	35'140 kWh
Stromverbrauch (UWP):	22'260 kWh/a	1'900 kWh	20'360 kWh
Stromproduktion (T):	3'370 kWh/a	290 kWh	3'080 kWh
Stromrückgewinnung:	15.1 %	15.3 %	15.1 %
Betriebsstunden WP:	2'682 h	229 h	2'453 h
JAZ (inkl. Turbine):	3.7	4.1	3.7
JAZ (ohne Turbine):	3.5	3.9	3.5

S\* = Sommer, HP\*\* = Heizperiode, WP = Wärmepumpe, UWP = Unterwasserpumpe, T = Turbine

## 5. GEOLOGIE / HYDROGEOLOGIE

Der Standort der Anlage befindet sich auf einer rund 25 m mächtigen Moränenablagerung (stark toniger Kies mit grossen Blöcken), welche von früh- bis spätwürmzeitlichen Schottern (sandiger Kies) unterlagert wird. Der in den Schottern von Nordosten nach Südwesten fließende Grundwasserkörper liegt in einer Tiefe von rund 45 m und weist eine Mächtigkeit von 14 m auf. Unterlagert werden diese in den tieferen Partien gesättigten Schotter vom Fels der Oberen Meeresmolasse (Mergelsteine). Der gesamte Bereich um die geplante Anlage befindet sich im Gewässerschutzbereich A.

Das Bohrprofil zeigt auf, dass in den Moränenablagerungen zum Teil bis zu 80 cm grosse Granitblöcke liegen, welche nur mit Mühe durchbohrt werden konnten. In einer Tiefe von 59 m liegen die das Grundwasser stauenden Mergelsteine der Oberen Meeresmolasse.

Im Endausbau wurden die gesättigten Kiesschichten mit einem 6"-PVC-Filterrohr und die restlichen Schichten mit einem entsprechenden Vollrohr ausgestattet (Beilage 3 und 4). Zur Absetzung der Feinfraktion (Sand- und Siltpartikel) wurde im untersten Teil der Bohrungen wiederum ein Vollrohr (Schlammsack) versetzt.

## 6. TURBINE

Folgende Anforderungen wurden an die eingesetzte Turbine gestellt: 1) Der Wirkungsgrad muss möglichst hoch ausfallen. 2) Die Turbine muss mit Steuer- und Stromkabel in einem 6"-PVC-Rohr Platz haben. 3) Die Turbine soll möglichst keine Spezialanfertigung sein, sondern ein bestehendes, gut erhältliches Produkt.

Auf dem Markt sind keine Turbinen mit diesen Anforderungen zu kaufen. Deshalb wurde eine Unterwasserpumpe mit wenigen Handgriffen in eine Turbine umgerüstet. Dieser Umbau wurde von der Biral AG (Pumpenproduktion) in Münsingen BE vorgenommen. Um die Realisierbarkeit, die Funktionsfähigkeit und den optimalen Betrieb der Turbine zu prüfen, wurden im Prüflabor der Biral AG in Münsingen mehrere Tests durchgeführt. Bei der Prüfreihe der umgebauten Unterwasserpumpe (Biral, UWP Typ E6X50-6/7 + MC67) wurde mit der Anzahl der Laufräder variiert. Es wurden des weiteren radiale (die Wasserführung erfolgt jeweils in radialer Richtung) als auch halbaxiale (die Wasserführung wird von der axialen Richtung in die radiale Richtung umgelenkt) Laufräder getestet. Beim Einsatz von 4 radialen Laufrädern konnte das beste Ergebnis erzielt werden. Um die Druckhöhe in der Bohrung zu simulieren, wurde im Labor eine Hochdruckpumpe des Typs Biral HP 30 – 40 verwendet. Die Versuchsreihe erfolgte bei einem Durchfluss von 23 m<sup>3</sup>/h (383 l/min) und einer simulierten Fallhöhe von 45 m.

UWP Pumpe	Laufräder	Anz. Laufräder	Abgegebene Ø Leistung (W)	
E6X50-6/7 + MC67	radial	7	200 W	
	radial	5	800 W	
	radial	4	1'100 W	
	radial	2	200 W	
	halbaxial	4	50 W	
	halbaxial	2	50 W	

Tab. 1 Versuchsreihe der Turbine im Prüflabor der Biral AG, Münsingen, mit Bild eines radialen Laufrads

## 7. MESSKONZEPT / MESSINSTALLATION

Wie schon unter Kapitel 3 (Auslegungsdaten) ersichtlich, wird bei der Anlage der Stromverbrauch der Unterwasserpumpe, derjenige der Wärmepumpe und die Stromproduktion der Turbine erfasst. Zusätzlich werden die Betriebsstunden der Wärmepumpe ermittelt (Beilagen 6 bis 13).

## 8. MESSRESULTATE

Bei den Messerhebungen werden die Werte von Juni 2005 bis Ende Mai 2007 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.

Der Stromverbrauch, die Stromerzeugung und die Betriebsstunden wurden an den Datenlogger übermittelt und aufgezeichnet (Beilagen 7 und 8).

### 8.1. Stromverbrauch Wärmepumpe

Saison (Monatsmittel)		
	Periode	Stromverbrauch WP kWh
Sommer 2005	Jun 05 - Aug 05	3'497
Heizperiode 2005 - 2006	Sep 05 - Mai 06	42'000
Sommer 2006	Jun 06 - Aug 06	4'530
Heizperiode 2006 - 2007	Sep 06 - Mai 07	35'140
1. Jahr	Jun 05 - Mai 06	45'497
2. Jahr	Jun 06 - Mai 07	39'670
Total	Jun 05 - Mai 07	85'167

WP: Wärmepumpe

### 8.2. Stromverbrauch Unterwasserpumpe

Saison (Monatsmittel)		
	Periode	Stromverbrauch UWP kWh
Sommer 2005	Jun 05 - Aug 05	1'807
Heizperiode 2005 - 2006	Sep 05 - Mai 06	29'110
Sommer 2006	Jun 06 - Aug 06	1'900
Heizperiode 2006 - 2007	Sep 06 - Mai 07	20'360
1. Jahr	Jun 05 - Mai 06	30'917
2. Jahr	Jun 06 - Mai 07	22'260
Total	Jun 05 - Mai 07	53'177

UWP: Unterwasserpumpe

### 8.3. Stromerzeugung der Turbine

Saison (Monatsmittel)		
	Periode	Turbine kWh
Sommer 2005	Jun 05 - Aug 05	274
Heizperiode 2005 - 2006	Sep 05 - Mai 06	4'440
Sommer 2006	Jun 06 - Aug 06	290



Heizperiode 2006 - 2007	Sep 06 - Mai 07	3'080
1. Jahr	Jun 05 - Mai 06	4'714
2. Jahr	Jun 06 - Mai 07	3'370
Total	Jun 05 - Mai 07	8'084

## 8.4. Betriebsstunden

Saison (Monatsmittel)	Betriebsstunden WP	
	Periode	h
Sommer 2005	Jun 05 - Aug 05	218
Heizperiode 2005 - 2006	Sep 05 - Mai 06	3'507
Sommer 2006	Jun 06 - Aug 06	229
Heizperiode 2006 - 2007	Sep 06 - Mai 07	2'453
1. Jahr	Jun 05 - Mai 06	3'725
2. Jahr	Jun 06 - Mai 07	2'682
Total	Jun 05 - Mai 07	6'407

WP: Wärmepumpe

## 9. ENERGIEBILANZ UND JAHRESARBEITSZAHL

(Beilage 7 bis 12)

Saison (Monatsmittel)	Periode	Stromverbrauch		Strom- erzeugung	Heizwärme Berechnet **	JAZ (Wärme- pumpenanlage)*	
		WP kWh	UWP kWh			Inkl. Turbine	Ohne Turbine
Sommer 2005	Jun 05 - Aug 05	3'497	1'807	274	19'234	3.8	3.6
Heizperiode 2005 - 2006	Sep 05 - Mai 06	42'000	29'110	4'440	231'000	3.5	3.3
Sommer 2006	Jun 06 - Aug 06	4'530	1'900	290	24'915	4.1	3.9
Heizperiode 2006 - 2007	Sep 06 - Mai 07	35'140	20'360	3'080	193'270	3.7	3.5
1. Jahr	Jun 05 - Mai 06	45'497	30'917	4'714	250'234	3.5	3.3
2. Jahr	Jun 06 - Mai 07	39'670	22'260	3'370	218'185	3.7	3.5
Total	Jun 05 - Mai 07	85'167	53'177	8'084	468'419	3.6	3.4

WP = Wärmepumpe; UWP = Unterwasserpumpe; \* JAZ = Jahresarbeitszahl (= Heizwärme\*\* / (Stromverbrauch WP + Stromverbrauch UWP- allenfalls Stromerzeugung Turbine), \*\*Berechnete Heizwärme mittels einem COP von 5.5 vgl. Beilage 7

## 10. SOLL- IST VERGLEICH

Die effektiven Daten zeigen nun, dass die im Prüflabor erzielten Leistungen der Turbine auch im eigentlichen Betrieb bestätigt werden können. Während der Messperiode Juni 05 bis Mai 07 konnte die Turbine 8'084 kWh Strom ins Netz speisen. Dies bei einer Leistung von 1.1 – 1.3 kW (Beilage 7). Dies entspricht im Mittel 15.2 % der aufgewendeten Pumpenleistung zur Förderung des Grundwassers.

Ermittelte Daten	Sollwert*	Istwert**		
		Minimal	Maximal	2-jahresmittel
Abgegebene Ø Leistung pro Monat (W)	1'100	1'106	1'349	1'262

\* im Prüflabor mit 23 m³/h (383 l/min) und 45 m Fallhöhe (simuliert),

\*\* bei 23.5 m³/h (392 l/min) und ca. 45 m Fallhöhe

## 11. AUSWERTUNG UND INTERPRETATION DER DATEN

### 11.1. Vergleich Labor und Praxis

In der Praxis zeigte sich, dass die Turbine die Leistungen, welche im Laborversuch ermittelt wurden, erreicht. In der zweijährigen Messreihe konnten sogar bis zu 23 % höhere Leistungen der Turbine als jene im Labor gemessen werden. Betrachtet man die Nennleistung der noch nicht zu einer Turbine umgerüsteten Unterwasserpumpe E6X50-6/7 + MC 67 von 5.5 kW mit der im Betrieb registrierten Leistung der Turbine von 1.3 kW, so ergibt das eine Turbinenleistung, welche rund 24% der Leistung der Unterwasserpumpe entspricht.

### 11.2. Turbinenleistung

Die Leistung der Turbine schwankt nur geringfügig (Beilage 7 und 8), so dass von einer konstanten Stromproduktion während des Pumpenbetriebs ausgegangen werden kann. Die gemessenen Schwankungen können durch das An- und Abschalten der Unterwasserpumpe (wärmebedarfsabhängig) beeinflusst sein. Die Einschaltzeiten der Unterwasserpumpe wurden nicht registriert.

## 12. FUNKTIONSWEISE UND EFFIZIENZ DER ANLAGE

Die Anlage in Würenlos liegt in einem Gebiet mittlerer Grundwassermächtigkeit (2 – 10 m, effektiv 14 m). Das Grundwasser liegt allerdings in grosser Tiefe, so dass es aus 45 m Tiefe gefördert werden muss. Die dadurch anfallenden höheren Stromaufwändungen zur Förderung des Grundwassers verringern im Vergleich zu einer „normalen“ umweltfreundlichen Anlage (Förderhöhe durchschnittlich 25 m) die Effizienz der Anlage. Um die Effizienz der an sich sehr wirtschaftlichen Grundwasserwärmepumpenanlage zu verbessern, wird in diesem Projekt versucht, durch Stromerzeugung mittels einer Turbine im Rückgabebrunnen den Stromverbrauch zu reduzieren. Vergleicht man die JAZ der Anlage mit und ohne Turbine, so zeigt sich, dass die Turbine eine Effizienzsteigerung von 5.9 % bewirkt.

Saison (Monatsmittel)	Periode	JAZ (Wärmepumpenanlage)*		
		inkl. Turbine	ohne Turbine	Effizienzsteigerung in %
Sommer 2005	Jun 05 - Aug 05	3.8	3.6	5.5
Heizperiode 2005 - 2006	Sep 05 - Mai 06	3.5	3.3	6.1
Sommer 2006	Jun 06 - Aug 06	4.1	3.9	5.1
Heizperiode 2006 - 2007	Sep 06 - Mai 07	3.7	3.5	5.7
1. Jahr	Jun 05 - Mai 06	3.5	3.3	6.0
2. Jahr	Jun 06 - Mai 07	3.7	3.5	5.7
Total	Jun 05 - Mai 07	3.6	3.4	5.9

\* JAZ = Jahresarbeitszahl (= Heizwärme\*\* / (Stromverbrauch WP + Stromverbrauch UWP))

\*\*Berechnete Heizwärme mittels einem COP von 5.5 vgl. Beilage 7, WP = Wärmepumpe; UWP = Unterwasserpumpe

## 13. EFFIZIENZ- UND WIRTSCHAFTLICHKEITSANALYSE

Im Folgenden wird eine Effizienz- und Wirtschaftlichkeitsanalyse der Anlage in Würenlos vorgenommen (Beilage 14).

## **Effizienz**

Da die Anlage ursprünglich für 4 Liegenschaften ausgelegt war, ist die Unterwasserpumpe zur Zeit überdimensioniert. Dies verringert die Effizienz der Anlage. Nach Anschluss von zwei weiteren Liegenschaften wird die Effizienz der Anlage jedoch nochmals erhöht, so dass mit einer endgültigen Effizienzsteigerung gegenüber der Anlage ohne Turbine von rund 16 % gerechnet werden kann (Beilage 14). Zur Zeit beträgt die JAZ (Wärmepumpenanlage) 3.6. Sie dürfte jedoch schlussendlich auf 3.9 gesteigert werden können. Bei einer weiteren Erhöhung der JAZ auf 3.9 sind die Mehrkosten schon nach 12.2 Jahren amortisiert (Beilage 14).

## **Wirtschaftlichkeit**

Berücksichtigt man die angefallenen Mehrkosten (Turbine, Einbau, Anschluss ans Netz und Steuerung) und vergleicht diese mit dem durch die Turbine ans Netz zurückgespiessenen Strom bzw. den hierdurch verursachten geringeren Betriebskosten, so werden die Mehrkosten zur Zeit bei einer Verzinsung von 8 % in rund 12.2 Jahren amortisiert sein (Beilage 14).

## **14. BETRIEBSERFAHRUNG**

Der Wärmepumpenbetrieb mit Turbine verläuft problemlos. Es konnten keine Unterbrüche oder Störungen beobachtet werden.

## **15. SCHLUSSFOLGERUNGEN**

Die in diesem Forschungsprojekt ermittelten Daten lassen Folgendes erkennen:

- Die Effizienz der Anlage kann durch den Einsatz der Turbine zur Zeit um rund 6 % verbessert werden.
- Die Effizienz der Wärmepumpenanlage kann mit dem Anschluss der in der Planung eingerechneten zwei zusätzlichen Häuser um weitere 10 % gesteigert werden, so dass die Anlage gegenüber der Anlage ohne Turbine schlussendlich um rund 16 % effizienter läuft.
- Die durch den Ersatz einer Turbine verursachten Mehrkosten werden zur Zeit bei einer Verzinsung von 8 % in rund 12 Jahren amortisiert sein.
- Das Forschungsprojekt hat gezeigt, dass der Einsatz einer Turbine im Rückgabebrunnen von Grundwasserwärmepumpen tiefliegender Grundwasservorkommen eine wesentliche Effizienzsteigerung der Anlage bringt. Je tiefer die Grundwasservorkommen dabei liegen, desto grösser dürfte diese Effizienzsteigerung sein.
- Die Erschliessung auch tiefliegender, zur Trinkwasserförderung nicht geeigneter Grundwasservorkommen können mittels dieser Effizienzsteigerung für die Wärmeproduktion interessant werden.

## GRUNDLAGEN / LITERATUR

- Gesuche an das BFE: Zweijährige Erfolgskontrolle (Messkampagne) der WP-Anlage in Würenlos „Grundwasser-Wärmepumpenanlage mit Rückgabe-Turbinierung“ mit Verfügungen des BFE vom 5.8.03 und 13.10.04.
- 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, September 2004
- EBERHARD & Partner AG, „Grundwasser-Wärmepumpe mit Rückgabe-Turbinierung“, Zwischenbericht, Aarau, August 2006

## ANHANG

Beilagen

Projektleitung: Dr. M. Eberhard

Aarau, 11. September 2007



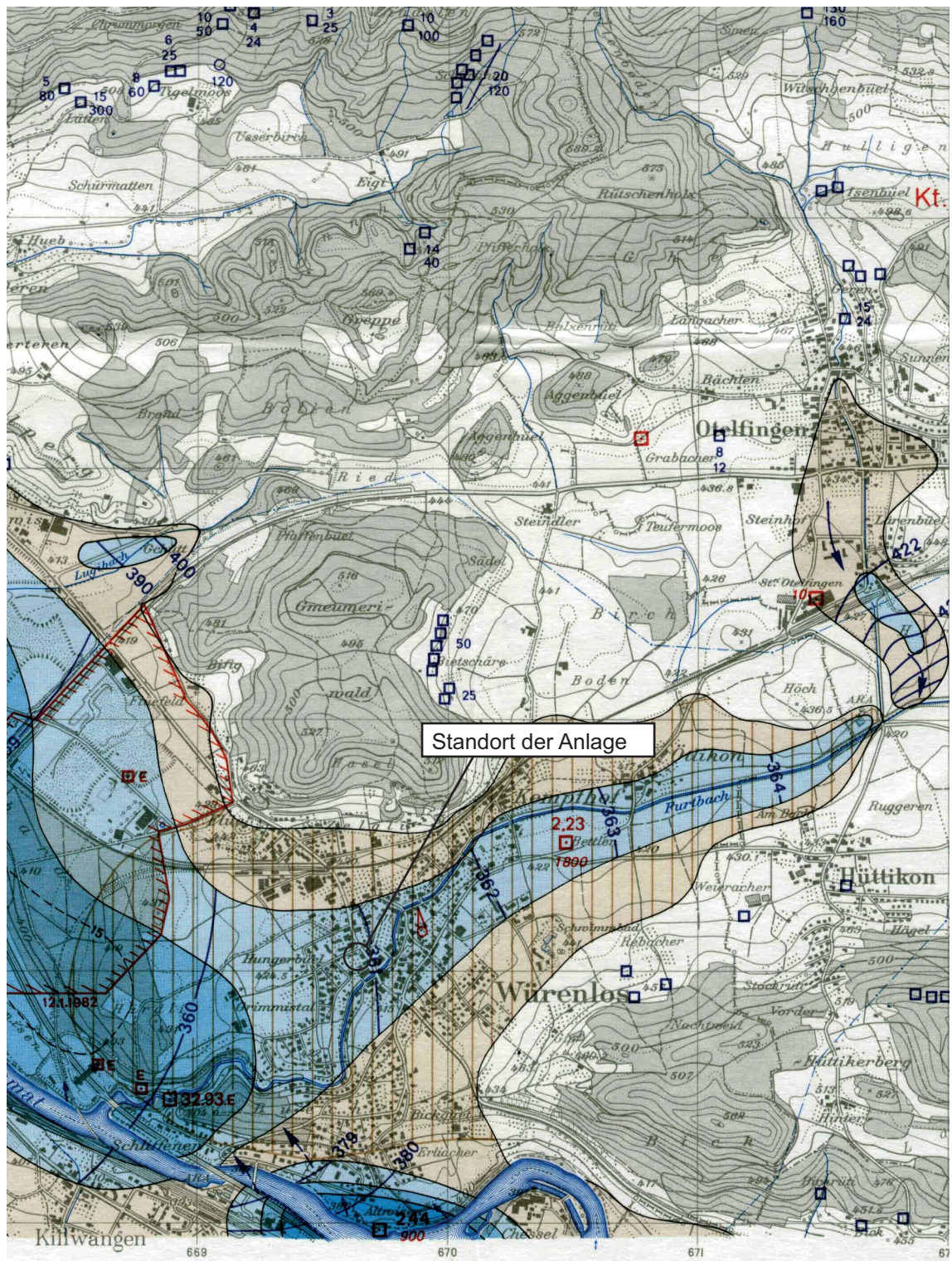
EBERHARD & Partner AG  
Geologie • Energie • Umwelt

## BEILAGEN

- 1 Ausschnitt aus der Grundwasserkarte des Kantons Aargau, Blatt Baden, Stand 1993, mit eingezeichnetem Standort der Anlage
- 2 Ausschnitt aus dem Kataster der Gemeinde Würenlos mit eingezeichnetem Entnahme- und Rückgabebrunnen und dem Standort der Wärmepumpenanlage
- 3 Bohrprofil Entnahmebrunnen mit Lage der Förderpumpe
- 4 Bohrprofil Rückgabebrunnen mit Lage der Turbine
- 5 Fotodokumentation
- 6 Prinzipschema Stromerzeugung mit integriertem Messsystem
- 7 Zusammengefasste Energie- und Leistungsdaten, tabellarisch
- 8 Zusammengefasste Energie- und Leistungsdaten, graphisch
- 9 Energiebilanz Sommer 2005
- 10 Energiebilanz Heizperiode 2005 / 2006
- 11 Energiebilanz Sommer 2006
- 12 Energiebilanz Heizperiode 2006 / 2007
- 13 Energiebilanz 2005 / 2007 Prinzipschema Stromerzeugung
- 14 Wirtschaftlichkeitsanalyse
- 15 Leistungsdiagramm der Wärmepumpe CTC-AquaTec SWW ZR 2190c
- 16 Technische Daten der Unterwasserpumpe Grundfos SP-30-8
- 17 Technische Daten der Unterwasserpumpe Biral E6X50-6/7 + MC67



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



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



Gebiet geringer Grundwassermächtigkeit (< 2 m)  
Schotter-GW-Leiter über den Tälern



Grundwasserfassung mit Nummer und Entnahmemenge in l/min



Quellfassung (min./max in l/min)

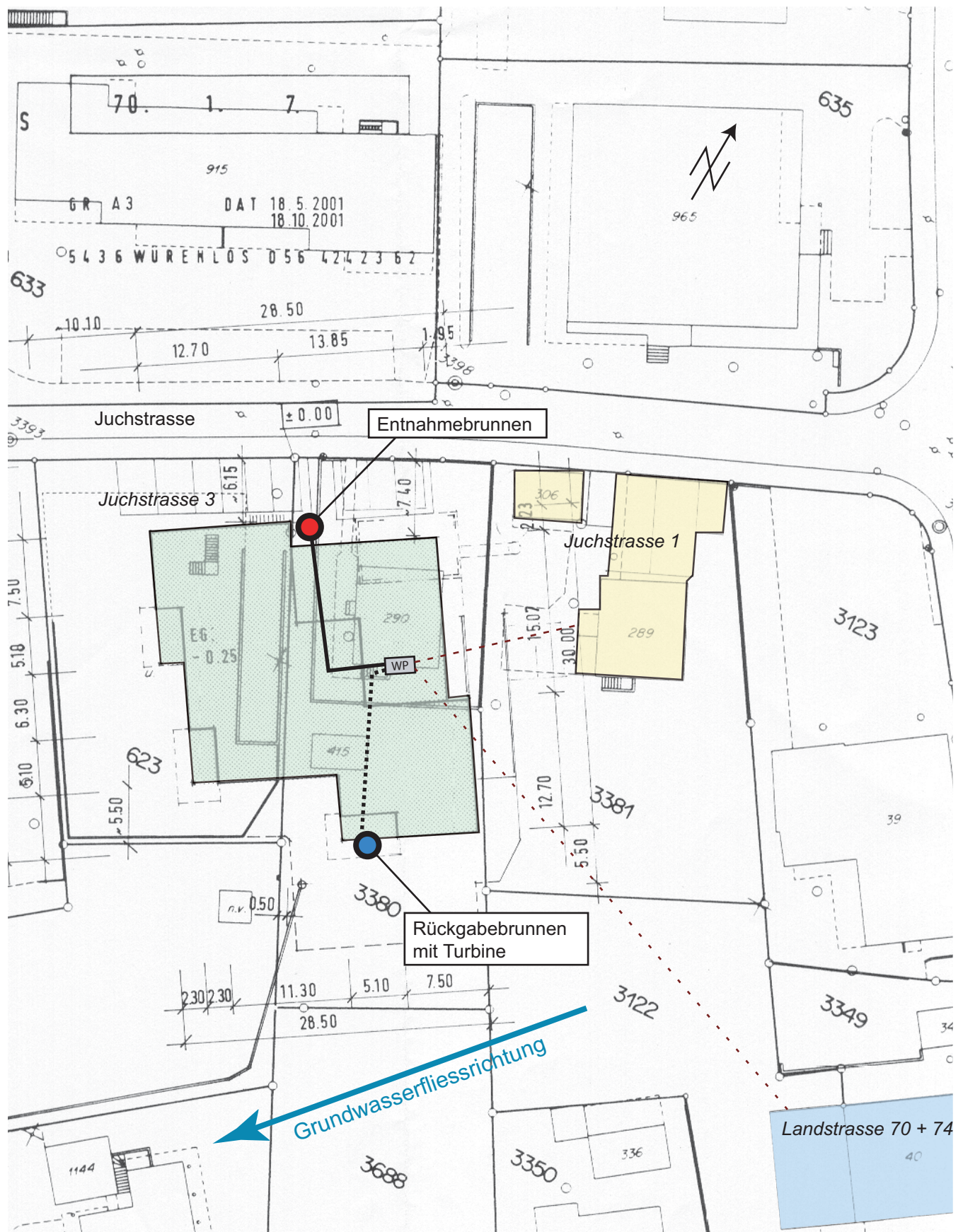
A 445  
Aarau, 04.09.07

Grundwasser-Wärmepumpe mit Rückgabe-Turbinierung, 5436 Würenlos

Massstab  
1 : 25'000

EBERHARD & Partner AG  
Geologie • Energie • Umwelt







A 445	Grundwasser-Wärmepumpe mit Rückgabe-Turbinierung, 5436 Würenlos	Massstab 1 : 500	EBERHARD & Partner AG Geologie • Energie • Umwelt
Aarau, 04.09.07			

PROJEKT: Wärmepumpenanlage Schenker Würenlos, Entnahmebrunnen					Kernbohrung 2	
AUFTRAGGEBER:		Elektro Güller AG, Würenlos, Herr Gerhard Güller		STANDORT:	Würenlos	
UNTERNEHMER:		Jet Injectobohr		OK BOHRLOCH:	ca. 423 m ü. M.	
GEOL. AUFNAHME:		EBERHARD & Partner AG, A. Märki		KOORDINATEN:	ca. 669'625 / 255'050	
BOHRMEISTER:		Hr. Muratovic		RICHTUNG:	-	
BOHRBEGINN:		14.05.2003		NEIGUNG:	vertikal	
BOHRENDE:		27.05.2003		GESAMTLÄNGE:	61.6 m	
				REF:	A 445	
Litho- logie	Einbau	Wasser- spiegel	Pumpe	m	Geotechnische Beschreibung des Bohrgutes	Geologische Interpretation
					Toniger Silt, braun, mit Kieskomp. 1 bis 3 und 8 cm Ø	Moräne
				1.0		
				1.2	Siltiger Kies, grau, Kieskomp. 1 bis 10 cm Ø vereinzelt bis 3l cm Ø	
				2.6.7	Siltiger Kies, grau, Kieskomp. 1 bis 5 und 8 cm Ø	
				3.0		
				3.5		
				4.0	Toniger Kies, graubraun, Kieskomp. 1 bis 2 cm Ø und 5 bis 50 cm Ø	
				5.0		
				6.0		
				5.8	Toniger bis siltiger Kies, hellgrau, Kieskomp. 1 bis 5 cm Ø und > 30 cm Ø	
				7.0		
				8.0		
				8.0	Toniger Kies, hellbraun, Kieskomp. 1 bis 4 cm Ø, vereinzelt bis 30 cm Ø	
				9.0		
				10.0		
				10.9	Toniger Kies, grau, Kieskomp. 2 bis 5 cm Ø und 8 bis 30 cm Ø	
				12.0		
				13.0		
				14.0		
				15.0	14.9 - 15.7m: Gneisblock	
				15.7		
				16.0	Toniger Kies, grau, Kieskomp. 1 bis 3 cm Ø und 5 bis 10 cm Ø	
				17.0		
				18.0		
				19.0		
				19.6	Siltiger Kies (sandig), graubraun, Kieskomp. 1 bis 5 cm Ø und 7 bis 11 cm Ø	
				20.0		
				21.0	Siltiger Kies, grau, Kieskomp. 1 bis 3 cm Ø und 8 bis 15 cm Ø	
				22.0		
				23.0		
				23.3	Toniger Kies, graubraun, Kieskomp. 2 bis 8 cm Ø	
				24.0		
24.2						
24.8	Kies, grau, Kieskomp. 8 bis 10 cm Ø					
25.0						
24.8	Sandiger bis siltiger Kies, braun Kieskomp. 1 bis 3 cm Ø und < 7 cm Ø					
26.0						
27.0						
27.3						
28.0	Toniger Kies, braun, Kieskomp. 1 bis 8 cm Ø					
29.0						
30.0						
31.0						
32.0						
33.0						
33.6						
34.0	Sandiger bis siltiger Kies, hellgrau, Kieskomp. 1 bis 3 cm Ø					
35.0						
36.0						
37.0						
38.0						
39.0						
40.0						
39.8	Toniger Kies, hellgrau, Kieskomp. 2 bis 7 cm Ø und vereinzelt bis 14 cm Ø					
40.4	Kies, grau, Kieskomp. 6 cm Ø und 12 cm Ø					
41.0						
41.0	Siltiger Kies, graubraun, Kieskomp. 1 bis 8 cm Ø, vereinzelt > 10 cm Ø					
42.0						
43.0						
43.3	Sandiger Kies, schwach siltig, grau, Kieskomp. 2 bis 7 cm Ø					
44.0						
44.5						
45.0	Toniger Kies, grau					
45.0	Sandiger Kies, rotbraun, Kieskomp. 0.5 bis 3 cm Ø, vereinzelt > 6 cm Ø					
46.0						
47.0						
47.4						
48.0	Sandiger Kies, braun, Kieskomp. 2 bis 8 cm Ø					
48.5						
49.0	Siltiger Kies, braun					
50.0						
50.0	Sandiger Kies, schwach siltig, braun, Kieskomp. 1 bis 5 cm Ø					
51.0						
52.0						
52.5						
53.0	Sandiger Kies, schwach siltig, rotgrau, Kieskomp. 1 bis 5 cm Ø					
54.0						
55.0						
55.5	Kies, grau, Kieskomp. 2 bis 7 cm Ø					
56.1						
57.0	Sandiger Kies, braun, Kieskomp. 1 bis 3 cm Ø, vereinzelt 6 bis 8 cm Ø					
58.0						
57.9	Sandiger Kies, grau, Kieskomp. 3 bis 7 cm Ø, vereinzelt 6 bis 13 cm Ø					
58.9						
58.9	Toniger Kies, rotbraun, Kieskomp. 1 bis 6 cm Ø					
59.4						
60.0	Toniger Sand, beige					
60.0	Tonstein, rot-grau, mit vereinzelt Kieskomponenten, bis 6 cm Ø					
61.0						
61.1						
61.6	Tonstein, rotbeige, hart gelagert					



PROJEKT: Wärmepumpenanlage Schenker Würenlos, Rückgabebrunnen					Kernbohrung 1	
AUFTRAGGEBER:		Elektro Güller AG, Würenlos, Herrn Gerhard Güller		STANDORT:	Würenlos	
UNTERNEHMER:		Jet Injectobohr		OK BOHRLOCH:	ca. 423 m ü. M.	
GEOL. AUFNAHME:		EBERHARD & Partner AG, A. Märki		KOORDINATEN:	ca. 669'625 / 255'050	
BOHRMEISTER:		Hr. Muratovic		RICHTUNG:	-	
BOHRBEGINN:		02.05.2003		NEIGUNG:	vertikal	
BOHRENDE:		12.05.2003		GESAMTLÄNGE:	61.7 m	
				REF:	A 445	
Litho- logie	Einbau	Wasser- spiegel	Turbine	m	Geotechnische Beschreibung des Bohrgutes	Geologische Interpretation
	Vollbohr	Tonab- dichtung		0.4	Toniger Silt, hellbraun, mit Kieskomp. 4 bis 7 cm Ø	Moräne
				1.0	Kies, hellbraun, Kieskomp bis 40 cm Ø (Gneisblock)	
				1.1	Siltiger Kies, hellgrau, Kieskomp. 1 bis 5 cm Ø	
				1.7	Toniger Kies, hellbraun, Kieskomp. bis 9 cm Ø	
				2.0	Siltiger Kies, hellbraun, Kieskomp. bis 10 cm Ø	
				3.0	Toniger Feinkies, schwach sandig, hellbraun, Kieskomp. 0.5 bis 5 cm Ø, vereinzelt bis 15 cm Ø	
				4.0	Toniger Kies, braun, Kieskomp. 1 bis 5 cm Ø und 8 bis 15 cm Ø	
				5.0	Siltiger Kies, hellgrau, Kieskomp. 4 bis 18 cm Ø	
				6.0	Grobkies, hellgrau, Kieskomp. 18 bis 22 cm Ø	
				6.7	Siltiger Kies, schwach tonig, hellbraun, Kieskomp. 3 bis 9 cm Ø	
				7.0	Kies, hellgrau Kieskomp. 17 bis 40 cm Ø	
				7.5	Toniger Kies, grau-rot Kieskomp. 1 bis 5 cm Ø und 10 bis 18 cm Ø	
				8.0	Kies, schwach tonig, hellbraun Kieskomp. 6 bis 20 cm Ø	
				9.0		
				10.0		
				11.0		
				12.0		
				13.0		
				14.0		
				15.0		
				16.0		
				17.0		
				18.0		
				19.0		
				20.0	Kies, hellgrau, Kieskomp. 25 cm Ø	
				20.8	Toniger Kies, kompaktierte Schicht, hellgrau	
				21.0	Siltiger Kies, hellbraun - hellgrau Kieskomp. 2 bis 5 cm Ø und 10 bis 20 cm Ø	
				22.0		
				23.0	vereinzelt mit kompaktierten tonigen Lagen	
				24.0		
				25.0		
				25.8	Grobkies, hellbraun, Kieskomp. 14 cm Ø	
				26.0	Siltiger Kies, beige-grau Kieskomp. 3 bis 11 cm Ø	
				27.0	Sandiger Kies, hellgrau, Kieskomp. 3 bis 5 cm Ø	
				27.7		
				28.0	Siltiger Kies, hellgrau, Stellenweise kompaktiert Bereiche, Kieskomp. 3 bis 5 cm Ø und vereinzelt bis 13 cm Ø	
				29.0		
				30.0		
				31.0		
				32.0		
33.0						
34.0						
35.0						
36.0						
36.0	Sandiger teils siltiger Kies, hellgrau, Kieskomp. 1 bis 5 cm Ø und 7 bis 12 cm Ø					
37.0						
38.0						
39.0						
40.0						
41.0						
42.0						
43.0						
44.0						
44.3 ab OKT Stand 12.0.03						
45.0						
45.1 ab OKT Stand 9.0.03						
45.4	Sandiger Kies, gelbbraun, Kieskomp. 1 bis 3 cm Ø, vereinzelt bis 10 cm					
46.0						
47.0						
47.5	Sand mit Kies, gelbbraun, Kieskomp. 2 bis 7 cm Ø					
48.0						
49.0						
50.0	Sandiger Kies, schwach siltig, rosagrau, Kieskomp. 2 bis 11 cm Ø					
51.0						
52.0						
53.0						
53.1	Sandiger Kies, schwach tonig, rosagrau, Kieskomp. 2 bis 5 cm Ø, vereinzelt bis 7 cm Ø					
54.0	Ton mit Kieskomponenten, beige-braun, Kieskomp. 1 bis 12 cm Ø					
55.0						
55.0	Kies, schwach sandig, grau, Kieskomp. 1 bis 4 cm Ø und 8 bis 12 cm Ø					
56.0						
57.0						
58.0						
59.0	Hartgelagerter Silt, beige	Obere Meeresmolasse				
60.0						
60.4	Sandstein, rot					
61.0						
61.2	Toniger Siltstein, rot					
61.7						

# Fotodokumentation



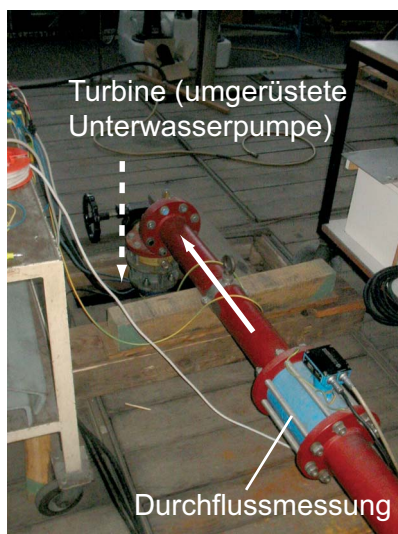
Blick auf das Gebäude Richtung Süden (Juchstr. 3 in Würenlos)



Einbau des Rückgabebrunnens mit Zuleitung



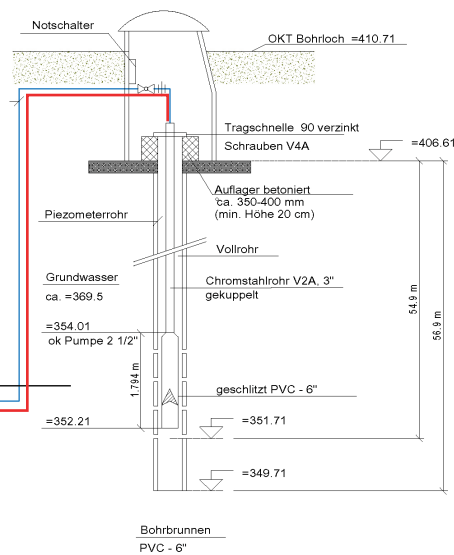
Bohrplatz des Rückgabebrunnens  
Blickrichtung Westen



Versuchsanordnung im Prüflabor der Biral, Münsingen

## Prinzipschema Stromerzeugung mit integriertem Messsystem

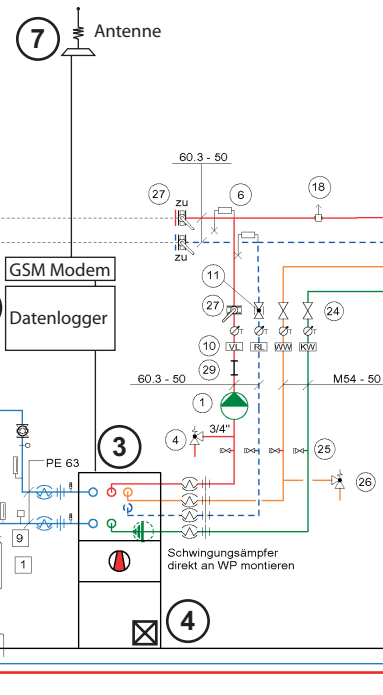
## Entnahmeschacht



## Wärmegewinnungsanlage

Fabrikat	: Grundfos
Typ	: SP30-S-MS4000
Fördermenge	: 23.5 m <sup>3</sup> /h
Förderhöhe	: 72 mWs
Motorleistung	: 7.5 kW
Spannung	: 3x400 V

## Wärmeverteilung



## Sole/Wasser Wärmepumpe

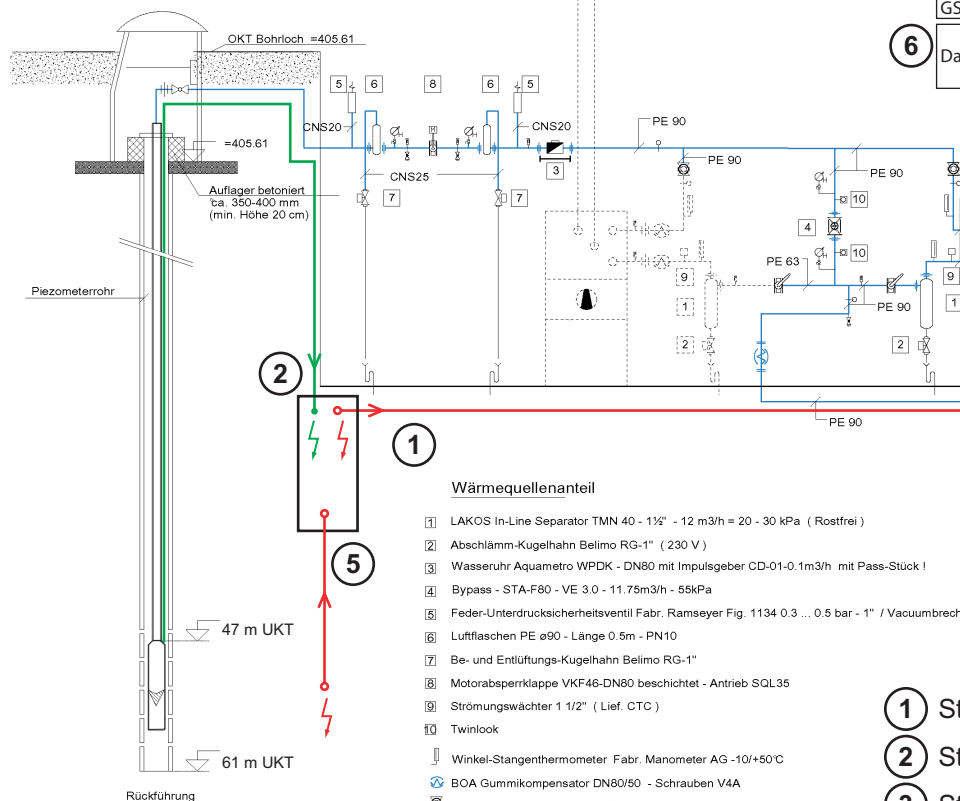
Fabrikat	: CTC Wärme AG
Typ	: SSW-ZR 2160c AquaTec
Heizleistung	: 60.96 kW bei (TV 50°C)
Kälteleistung	: 40.14 kW bei (TV 50°C)
Kältemittel	: R407c
inklusive Boilerladepumpe	

## Wärmequellenanteil

- 1 LAKOS In-Line Separator TMN 40 - 1 1/2" - 12 m<sup>3</sup>/h = 20 - 30 kPa ( Rostfrei )
- 2 Abschlamm-Kugelhahn Belimo RG-1" ( 230 V )
- 3 Wasseruhr Aquametro WPKD - DN80 mit Impulsgeber CD-01-0.1m<sup>3</sup>/h mit Pass-Stück !
- 4 Bypass - STA-F80 - VE 3.0 - 11.75m<sup>3</sup>/h - 55kPa
- 5 Feder-Unterdrucksicherheitsventil Fabr. Ramseier Fig. 1134 0.3 ... 0.5 bar - 1" / Vacuumbrecher
- 6 Luftflaschen PE e90 - Länge 0.5m - PN10
- 7 Be- und Entlüftungs-Kugelhahn Belimo RG-1"
- 8 Motorabsperriklappe VKF46-DN80 beschichtet - Antrieb SQL35
- 9 Strömungswächter 1 1/2" ( Lief. CTC )
- 10 Twinlook
- 11 Winkel-Stangenthermometer Fabr. Manometer AG -10/+50°C
- 12 BOA Gummikompensator DN80/50 - Schrauben V4A
- 13 BOA-Compact PN6 beschichtet, Schrauben V4A
- 14 BOAX Absperrklappen beschichtet, Schrauben V4A
- 15 Spül-, Füll- und Entleerhahn 3/4"
- 16 Druckmessnippel Twin-Lock 1/2" MS
- 17 Tauchhülsen CNS - 150mm - 7mm
- 18 Manometer -1...+3.0 bar Typ 212.20 mit Kugelhahn 1/2"

- 1 Stromzähler Unterwasserpumpe
- 2 Stromzähler Turbine
- 3 Stromzähler Wärmepumpe
- 4 Betriebsstundenzähler
- 5 Stromzähler Netzzuleitung zur Unterwasserpumpe (abzüglich Turbine)
- 6 Datensammler
- 7 Daten Übermittlung

## Rückgabeschacht mit Turbine



## Stromerzeugung Turbine

Fabrikat	: Biral
Typ	: UWP E6X50-6/7+MC67
Fallhöhe	: 45 m
Tubinenleistung Ø	: 1.3 kW

A 445

Aarau, 04.09.07

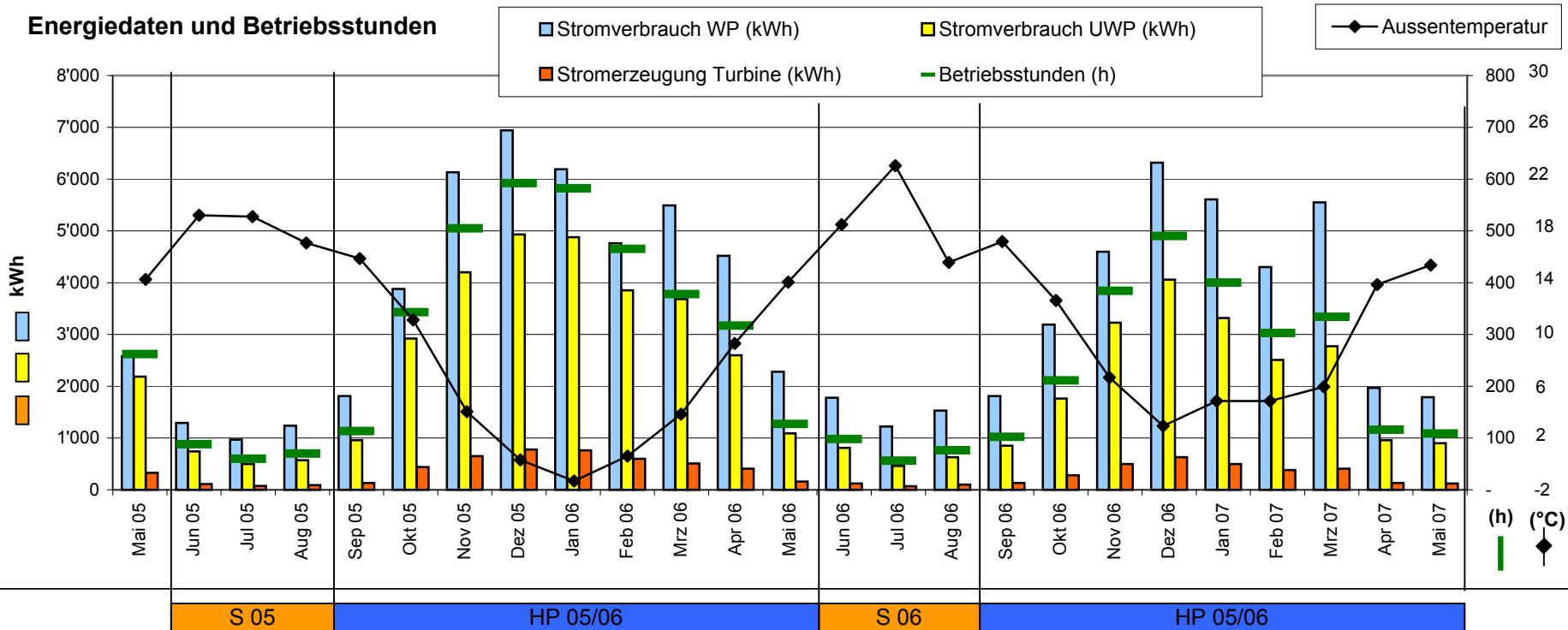
Grundwasser-Wärmepumpe mit Rückgabe-  
Turbinierung, 5436 WürenlosEBERHARD & Partner AG  
Geologie • Energie • Umwelt



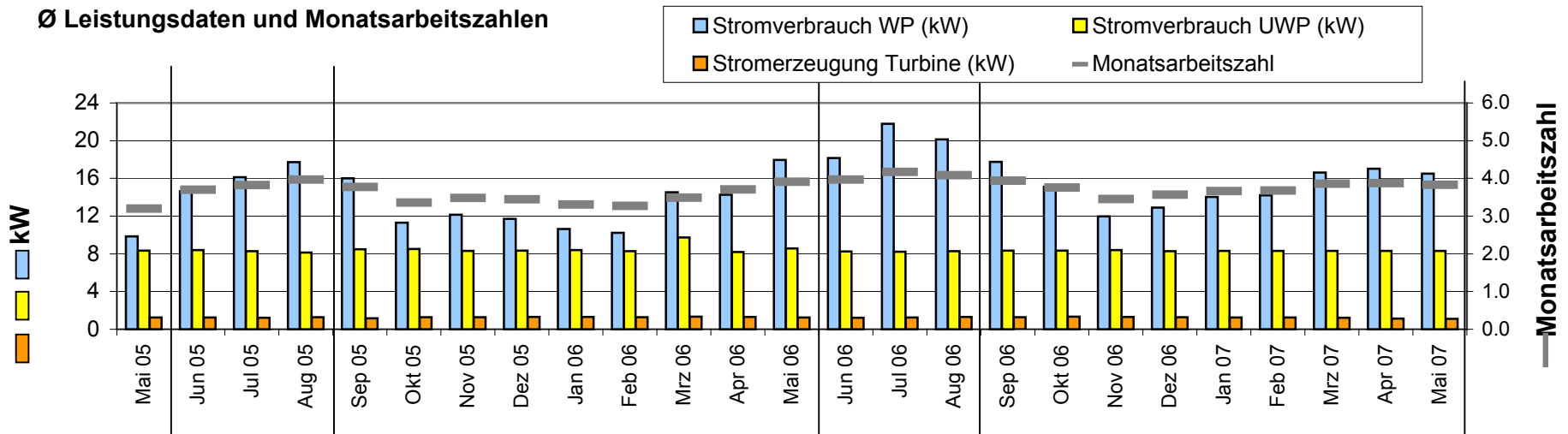
Zusammengefasste Energie- und Leistungsdaten												
Monat	Stromverbrauch Unterwasserpumpe		Stromgewinn Turbine		Stromverbrauch Verdichter (WP)		Betriebs- stunden	Netz- zuleitung **	Stromrückgewinn der Turbine	Heizwärme berechnet ***	JAZ <sup>+</sup> inkl. Turbine	JAZ <sup>+</sup> ohne Turbine
	kWh	Ø kW	kWh	Ø kW	kWh	Ø kW	h	kWh	%	kWh		
	Q <sub>UWP</sub>		Q <sub>T</sub>		Q <sub>WP</sub>				= Q <sub>T</sub> / Q <sub>UWP</sub> x 100	= 55 x Q <sub>UWP</sub>	* Monats Arbeitszahl***	
Mai 05 *	2'183	8.33	328	1.25	2'579	9.84	262	1'894	15.0	14'185	3.2	3.0
Jun 05	740	8.41	111	1.26	1'289	14.64	88	645	15.0	7'088	3.7	3.5
Jul 05	497	8.29	73	1.22	968	16.14	60	435	14.7	5'326	3.8	3.6
Aug 05	570	8.14	90	1.29	1'240	17.71	70	510	15.8	6'820	4.0	3.8
Sep 05	960	8.50	130	1.15	1'810	16.02	113	830	13.5	9'955	3.8	3.6
Okt 05	2'920	8.51	440	1.28	3'880	11.31	343	2'520	15.1	21'340	3.4	3.1
Nov 05	4'200	8.32	650	1.29	6'130	12.14	505	3'620	15.5	33'715	3.5	3.3
Dez 05	4'930	8.33	780	1.32	6'940	11.72	592	4'240	15.8	38'170	3.4	3.2
Jan 06	4'880	8.38	760	1.31	6'190	10.64	582	4'190	15.6	34'045	3.3	3.1
Feb 06	3'850	8.28	600	1.29	4'760	10.24	465	3'320	15.6	26'180	3.3	3.0
Mrz 06	3'680	9.74	510	1.35	5'490	14.52	378	3'240	13.9	30'195	3.5	3.3
Apr 06	2'600	8.20	410	1.29	4'520	14.26	317	2'240	15.8	24'860	3.7	3.5
Mai 06	1'090	8.58	160	1.26	2'280	17.95	127	940	14.7	12'540	3.9	3.7
Jun 06	810	8.27	120	1.22	1'780	18.16	98	690	14.8	9'790	4.0	3.8
Jul 06	460	8.21	70	1.25	1'220	21.79	56	400	15.2	6'710	4.2	4.0
Aug 06	630	8.29	100	1.32	1'530	20.13	76	540	15.9	8'415	4.1	3.9
Sep 06	850	8.33	130	1.27	1'810	17.75	102	740	15.3	9'955	3.9	3.7
Okt 06	1'760	8.34	280	1.33	3'190	15.12	211	1'530	15.9	17'545	3.8	3.5
Nov 06	3'230	8.41	500	1.30	4'600	11.98	384	2'780	15.5	25'300	3.5	3.2
Dez 06	4'060	8.29	630	1.29	6'320	12.90	490	3'500	15.5	34'760	3.6	3.3
Jan 07	3'320	8.30	500	1.25	5'610	14.03	400	2'870	15.1	30'855	3.7	3.5
Feb 07	2'510	8.30	380	1.26	4'300	14.22	302	2'180	15.1	23'650	3.7	3.5
Mrz 07	2'770	8.30	410	1.23	5'550	16.63	334	2'410	14.8	30'525	3.9	3.7
Apr 07	960	8.30	130	1.12	1'970	17.03	116	830	13.5	10'835	3.9	3.7
Mai 07	900	8.30	120	1.11	1'790	16.51	108	780	13.3	9'845	3.8	3.7
JAZ = Heizwärme*** / (Stromverbrauch UWP + Stromverbrauch WP), WP = Wärmepumpe, UWP = Unterwasserpumpe, T = Turbine, * in der Auswertung (Bericht) nicht berücksichtigt, <span style="color: orange;">■</span> = Heizperiode <span style="color: blue;">■</span> = Sommerperiode ** Netzzuleitung (gemessen) = UWP - Turbine (diese Werte zeigen Abweichungen durch Verluste bezgl. der Berechnung auf), <span style="color: orange;">■</span> berechnet mit COP von 5.5 (Herstellerangabe),												
										JAZ***	JAZ***	
S 05	1'807	8.30	274	1.26	3'497	16.06	218	1'590	15.2	19'234	3.8	3.6
HP 05/06	29'110	8.30	4'440	1.27	42'000	11.98	3'507	25'140	15.3	231'000	3.5	3.2
S 06	1'900	8.30	290	1.27	4'530	19.79	229	1'630	15.3	24'915	4.1	3.9
HP 06/07	20'360	8.30	3'080	1.26	35'140	14.33	2'453	17'620	15.1	193'270	3.7	3.5
<b>Total</b>	<b>53'177</b>	<b>8.30</b>	<b>8'084</b>	<b>1.26</b>	<b>85'167</b>	<b>13.29</b>	<b>6'407</b>	<b>45'980</b>	<b>15.2</b>	<b>468'419</b>	<b>3.6</b>	<b>3.4</b>

## Zusammengefasste Energie- und Leistungsdaten

## Energiedaten und Betriebsstunden



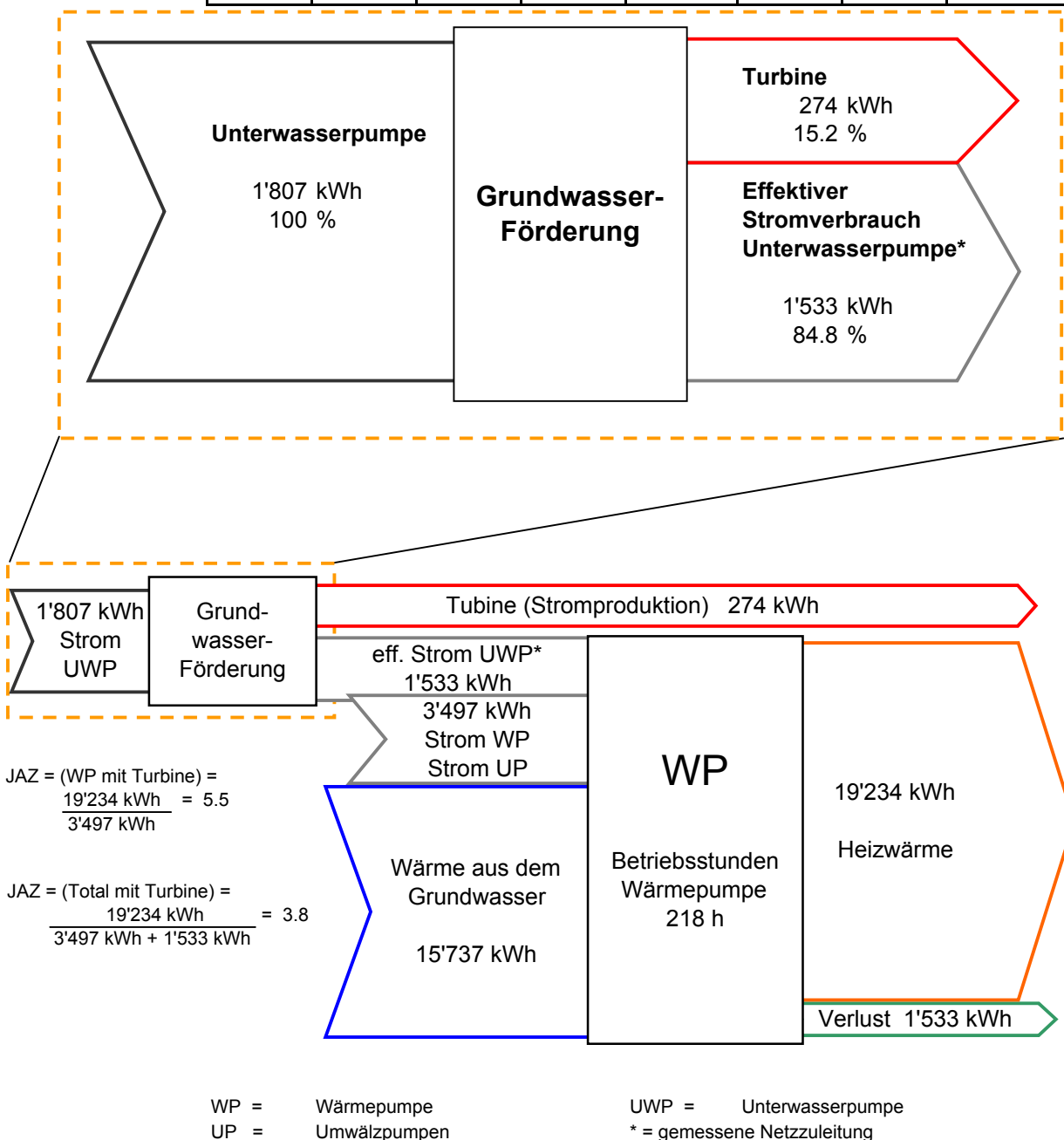
## Ø Leistungsdaten und Monatsarbeitszahlen



## Energiebilanz Sommer 2005

Stromverbrauch Förder-, Kompressorleistung				Betriebs- stunden	Stromrückgewinnung Turbinenleistung		
Unterwasser- pumpe		Wärmepumpe			Turbine		
kWh	kW	kWh	kW	h	kWh	kW	%

Jun - Aug 2005	1'807	8.3	3'497	16.1	218	274	1.259	15.2
Sep - Mai 2006	29'110	8.3	42'000	12.0	3'507	4'440	1.266	15.3
Jun - Aug 2006	1'900	8.3	4'530	19.8	229	290	1.267	15.3
Sep - Mai 2007	20'360	8.3	35'140	14.3	2'453	3'080	1.256	15.1
Jun 05 - Mai 06	30'917	8.3	45'497	14.0	3'725	4'714	1.3	15.2
Jun 06 - Mai 07	22'260	8.3	39'670	17.1	2'682	3'370	1.3	15.2
Jun 05 - Mai 07	53'177	8.3	85'167	15.5	6'407	8'084	1.262	15.2



A 445

04.09.2007

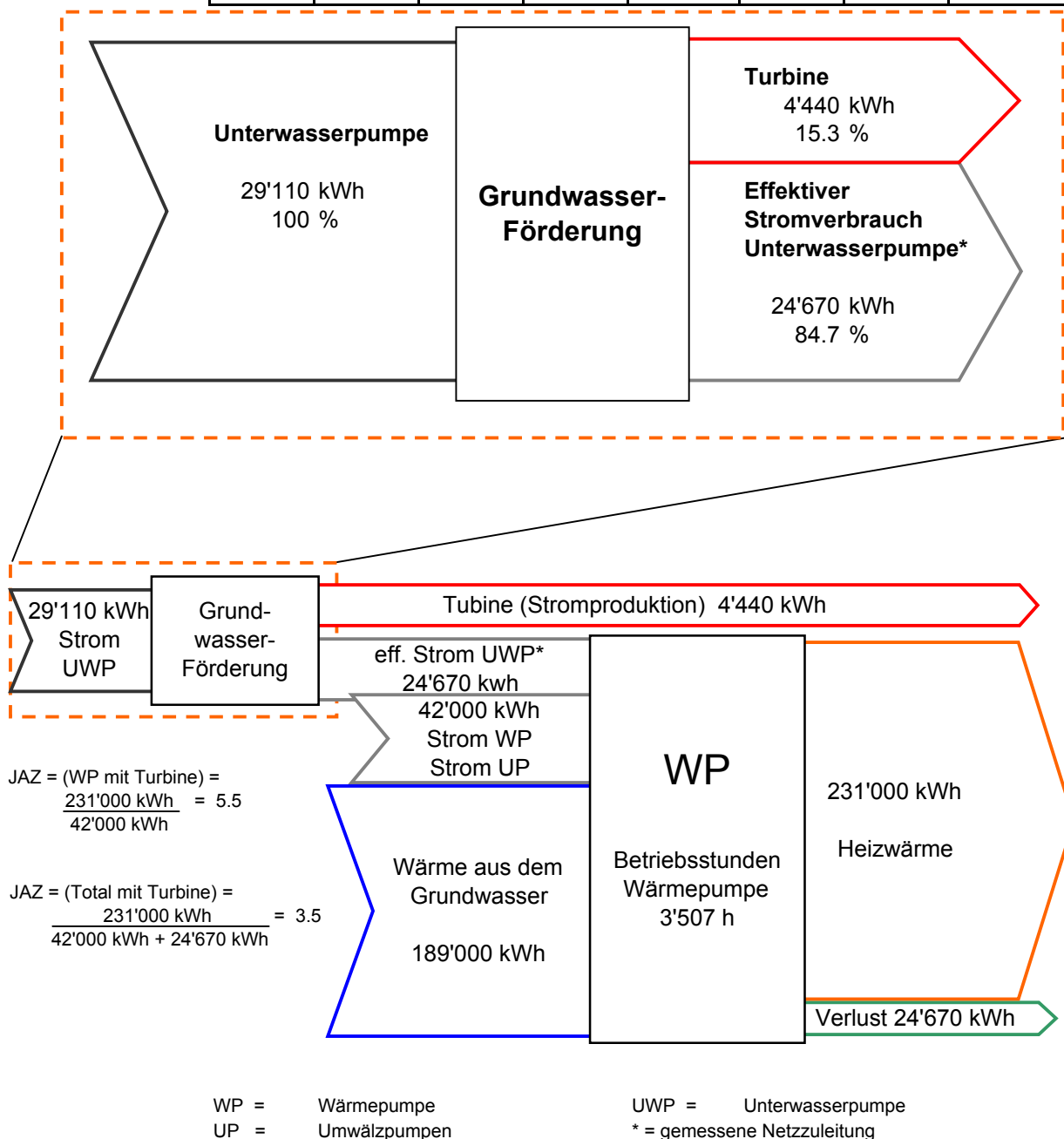
Grundwasser Wärmepumpe mit Rückgabe-  
Turbinierung, 5436 Würenlos

EBERHARD & Partner AG  
Geologie • Energie • Umwelt

## Energiebilanz Heizperiode 2005 / 2006

Stromverbrauch Förder-, Kompressorleistung				Betriebs- stunden	Stromrückgewinnung Turbinenleistung		
Unterwasser- pumpe		Wärmepumpe			Turbine		
kWh	kW	kWh	kW	h	kWh	kW	%

Jun - Aug 2005	1'807	8.3	3'497	16.1	218	274	1.259	15.2
Sep - Mai 2006	29'110	8.3	42'000	12.0	3'507	4'440	1.266	15.3
Jun - Aug 2006	1'900	8.3	4'530	19.8	229	290	1.267	15.3
Sep - Mai 2007	20'360	8.3	35'140	14.3	2'453	3'080	1.256	15.1
Jun 05 - Mai 06	30'917	8.3	45'497	14.0	3'725	4'714	1.3	15.2
Jun 06 - Mai 07	22'260	8.3	39'670	17.1	2'682	3'370	1.3	15.2
Jun 05 - Mai 07	53'177	8.3	85'167	15.5	6'407	8'084	1.262	15.2



A 445

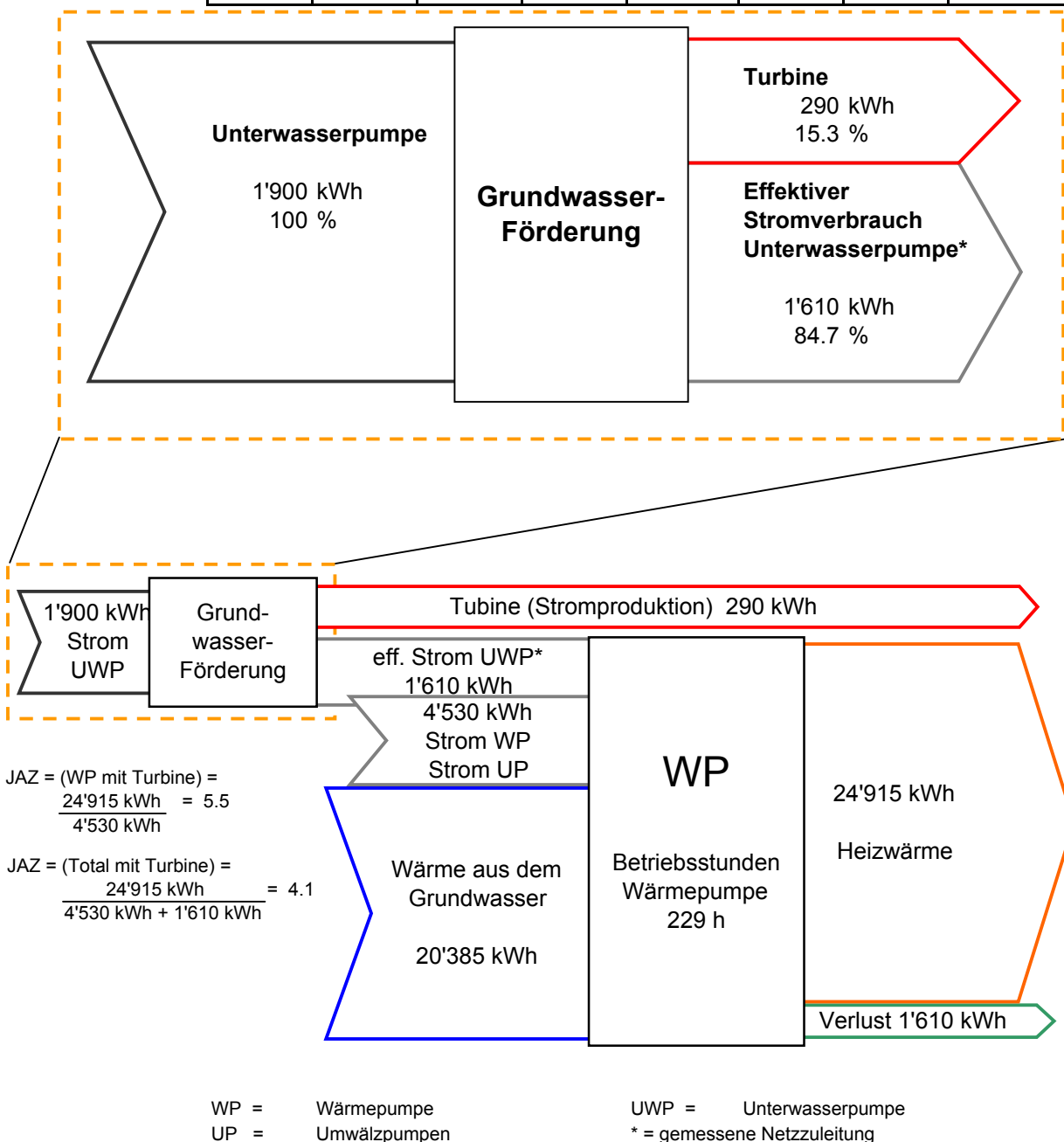
04.09.2007

Grundwasser Wärmepumpe mit Rückgabe-  
Turbinierung, 5436 WürenlosEBERHARD & Partner AG  
Geologie • Energie • Umwelt

## Energiebilanz Sommer 2006

Stromverbrauch Förder-, Kompressorleistung				Betriebs- stunden	Stromrückgewinnung Turbinenleistung		
Unterwasser- pumpe		Wärmepumpe			Turbine		
kWh	kW	kWh	kW	h	kWh	kW	%

Jun - Aug 2005	1'807	8.3	3'497	16.1	218	274	1.259	15.2
Sep - Mai 2006	29'110	8.3	42'000	12.0	3'507	4'440	1.266	15.3
<b>Jun - Aug 2006</b>	<b>1'900</b>	<b>8.3</b>	<b>4'530</b>	<b>19.8</b>	<b>229</b>	<b>290</b>	<b>1.267</b>	<b>15.3</b>
Sep - Mai 2007	20'360	8.3	35'140	14.3	2'453	3'080	1.256	15.1
Jun 05 - Mai 06	30'917	8.3	45'497	14.0	3'725	4'714	1.3	15.2
Jun 06 - Mai 07	22'260	8.3	39'670	17.1	2'682	3'370	1.3	15.2
Jun 05 - Mai 07	53'177	8.3	85'167	15.5	6'407	8'084	1.262	15.2



A 445

04.09.2007

Grundwasser Wärmepumpe mit Rückgabe-  
Turbinierung, 5436 Würenlos

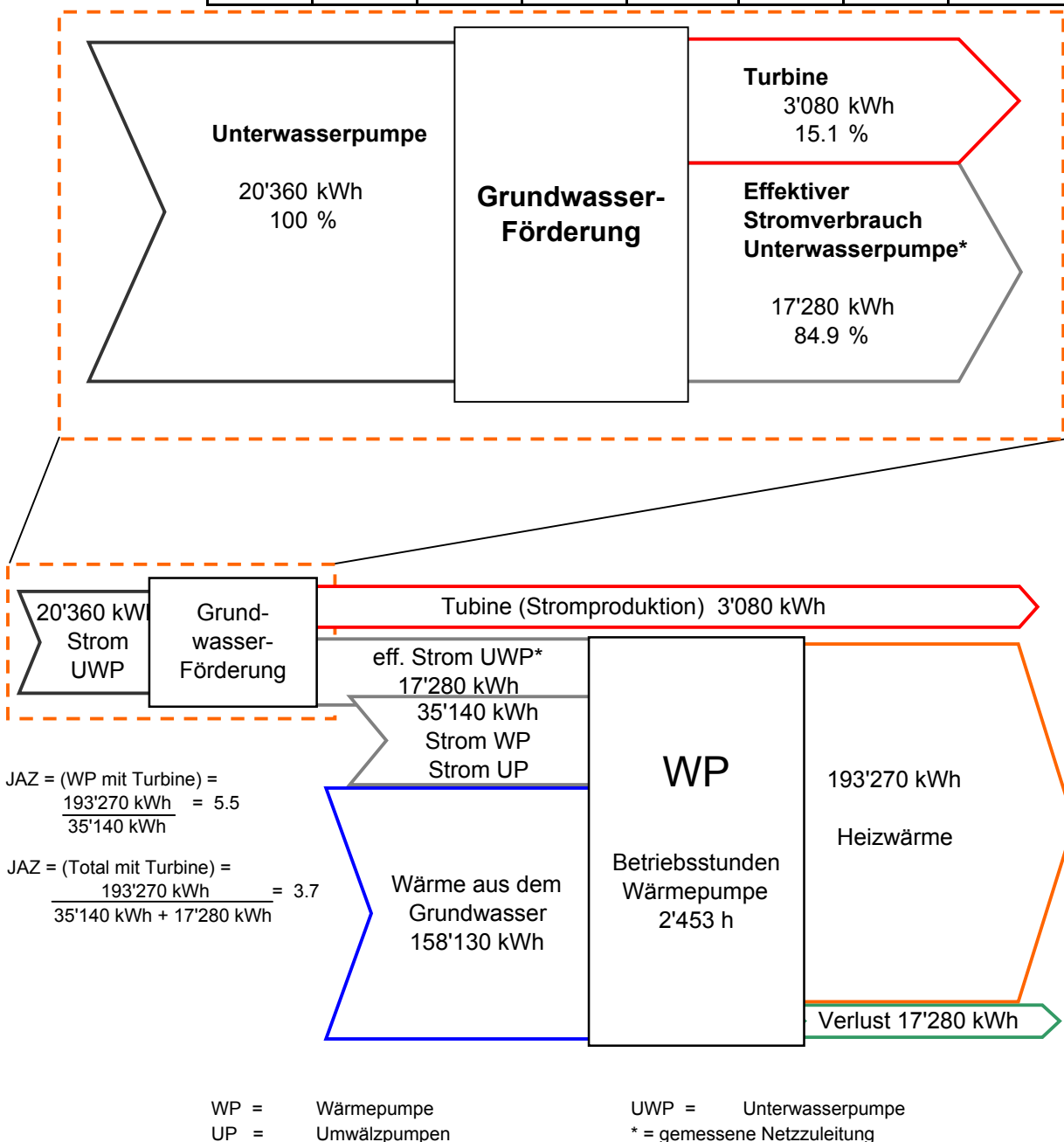
EBERHARD & Partner AG  
Geologie • Energie • Umwelt



## Energiebilanz Heizperiode 2006 / 2007

Stromverbrauch Förder-, Kompressorleistung				Betriebs- stunden	Stromrückgewinnung Turbinenleistung		
Unterwasser- pumpe		Wärmepumpe			Turbine		
kWh	kW	kWh	kW	h	kWh	kW	%

Jun - Aug 2005	1'807	8.3	3'497	16.1	218	274	1.259	15.2
Sep - Mai 2006	29'110	8.3	42'000	12.0	3'507	4'440	1.266	15.3
Jun - Aug 2006	1'900	8.3	4'530	19.8	229	290	1.267	15.3
Sep - Mai 2007	20'360	8.3	35'140	14.3	2'453	3'080	1.256	15.1
Jun 05 - Mai 06	30'917	8.3	45'497	14.0	3'725	4'714	1.3	15.2
Jun 06 - Mai 07	22'260	8.3	39'670	17.1	2'682	3'370	1.3	15.2
Jun 05 - Mai 07	53'177	8.3	85'167	15.5	6'407	8'084	1.262	15.2



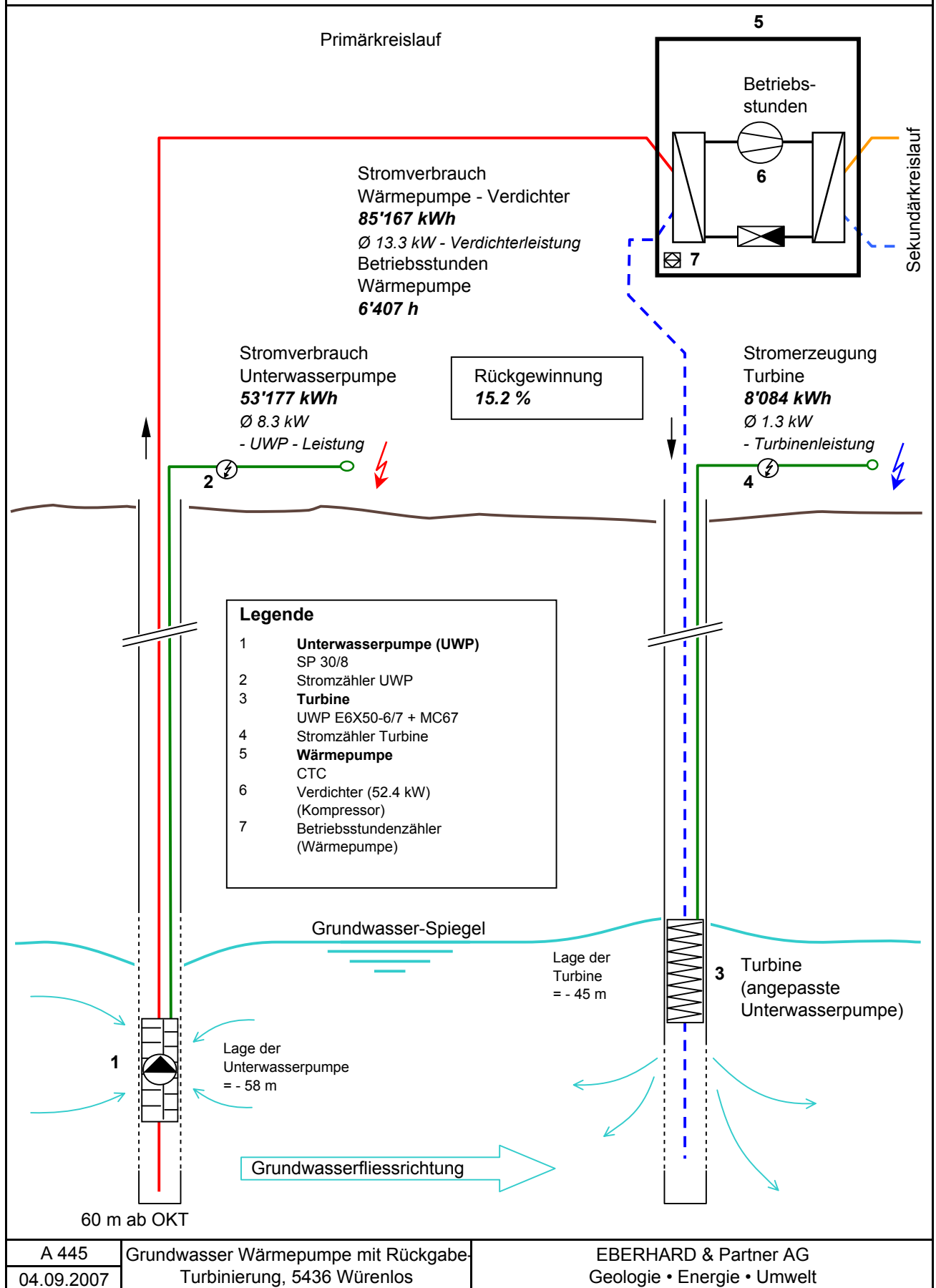
A 445

04.09.2007

Grundwasser Wärmepumpe mit Rückgabe-  
Turbinierung, 5436 Würenlos

EBERHARD & Partner AG  
Geologie • Energie • Umwelt

## Energiebilanz Periode Juni 2005 - Mai 2007



A 445

04.09.2007

Grundwasser Wärmepumpe mit Rückgabe-  
Turbinierung, 5436 Würenlos

EBERHARD & Partner AG  
Geologie • Energie • Umwelt

## Wirtschaftlichkeitsanalyse

**Mehrkosten für den Einbau und die Inbetriebnahme der Turbine**

Turbine, Montagematerial	15'100.00 Fr.
Arbeiten, Einbau und Anschluss	8'400.00 Fr.
<b>Mehrkosten</b>	<b>23'500.00 Fr.</b>

**Stromkosteneinsparung durch die Stromerzeugung der Turbine****Periode Juni 2005 - Mai 2007**

Stromverbrauch Unterwasserpumpe (kWh)	53'177 kWh
Stromverbrauch Wärmepumpe (kWh)	85'167 kWh
Stromproduktion der Turbine (kWh) - Turbinierung 1.3 kW x 6'407 h ~	8'084 kWh
<i>Stromproduktion der Turbine für kleinere UWP, interpoliert <sup>1)</sup> (kWh)</i>	<i>5'126 kWh</i>

Stromkosten <sup>2)</sup>	0.108 Fr. pro kWh	14'941 Fr.
Ertrag aus Stromproduktion <sup>3)</sup>	0.15 Fr. pro kWh	1'213 Fr.
Effektive Stromkosten für Wärmeerzeugung		13'729 Fr.
Stromkosten für Wärmeerzeugung ohne Turbine		14'941 Fr.
<i>Ertrag aus Stromproduktion mit kleiner UWP <sup>1) 3)</sup></i>	<i>0.15 Fr. pro kWh</i>	<i>769 Fr.</i>

**Kostendifferenz (Gewinn) pro Jahr** Annuität

1212.60 Fr.

**Kostendifferenz (Gewinn) pro Jahr mit einer kleineren UWP**

768.84 Fr.

Annuität

**Amortisationsberechnung**

Verzinsung	5%	8%
Mehraufwand für Turbineninstallation	23'500.00 Fr.	23'500.00 Fr.
Annuität	1'212.60 Fr.	1'212.60 Fr.
Amortisationszeit	13.9 Jahre	12.2 Jahre

**Amortisationsberechnung mit einer kleineren UWP <sup>1)</sup>**

Verzinsung	5%	8%
Mehraufwand für Turbineninstallation	23'500.00 Fr.	23'500.00 Fr.
Annuität	768.84 Fr.	768.84 Fr.
Amortisationszeit	19.0 Jahre	16.1 Jahre

**Effizienzsteigerung durch Optimierung**

Mit Durchschnittswerten berechnet.

Gebäude			Maximale Heizleistung	Ø UWP-Leistung	Ø Turbinen-Leistung	Ø Verdichter-Leistung (WP)	JAZ
			kW	kW	kW	kW	
Juchstr. 1+3	A	ohne Turbine	69.6	8.3		12.2	3.39
	B	mit Turbine	69.6	8.3	-1.3	12.2	3.62
Juchstr. 1+3 + Landstr. 70+74	C	ohne Turbine	110	8.3		21	3.75
	D	mit Turbine	110	8.3	-1.3	21	3.92

<b>B</b>	Effizienzsteigerung der Anlage durch Turbine:	JAZ = $\frac{69.6 \text{ kW}}{8.3 \text{ kW} + 12.2 \text{ kW} - 1.3 \text{ kW}}$ = 3.62	5.9 %
<b>C</b>	Effizienzsteigerung der Anlage durch zusätzliche Gebäude:	JAZ = $\frac{110 \text{ kW}}{8.3 \text{ kW} + 21 \text{ kW}}$ = 3.75	10.6 %
<b>D</b>	Effizienzsteigerung der Anlage durch zusätzliche Gebäude und Turbine im Vergleich zu A:	JAZ = $\frac{110 \text{ kW}}{8.3 \text{ kW} + 21 \text{ kW} - 1.3 \text{ kW}}$ = 3.92	15.6 %

<sup>1)</sup> Interpolierte Werte: Kleinere, der Anlage besser angepasste Unterwasserpumpe

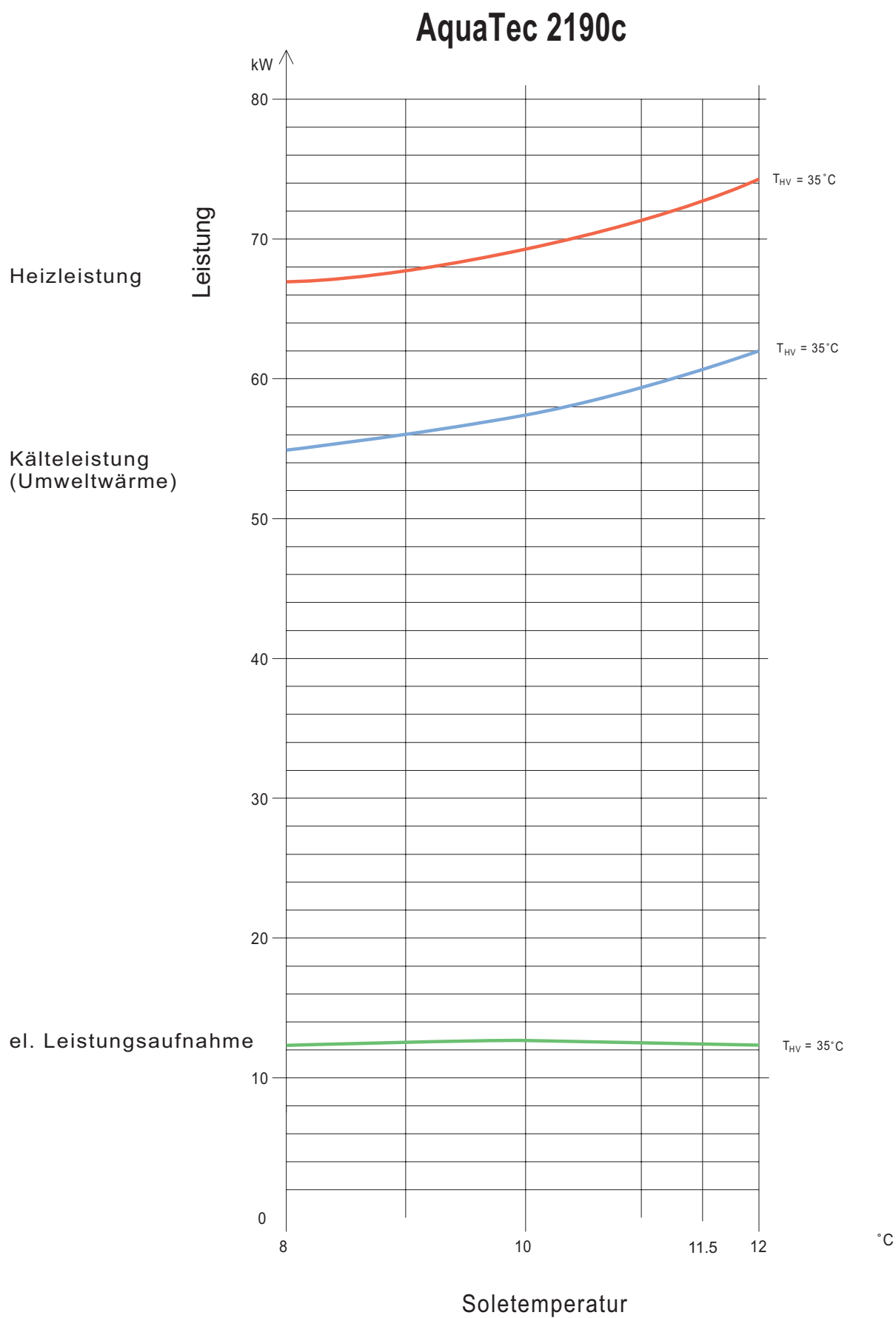
daraus resultiert eine geringere Stromproduktion (Annahme 0.8 kW -> 0.8 kW x 6407h = 5'126 kWh)

<sup>2)</sup> berechnet mit 50% Hochtarif (13.13 Rp.) und 50% Niedertarif (8.5 Rp.),  
Mitteltarif 10.8 Rp., IBAarau Stand Jun. 06

<sup>3)</sup> Annahme für Stromproduktion aus Wasserkraft (15.0 Rp.)

A445	Grundwasser Wärmepumpe mit Rückgabe-Turbinierung, 5436 Würenlos	EBERHARD & Partner AG Geologie • Energie • Umwelt
Aarau, 04.09.2007		

# Leistungsdiagramm der Wärmepumpe CTC-AquaTec 2190c



Quelle: SATAG THERMOTECHNIK AG

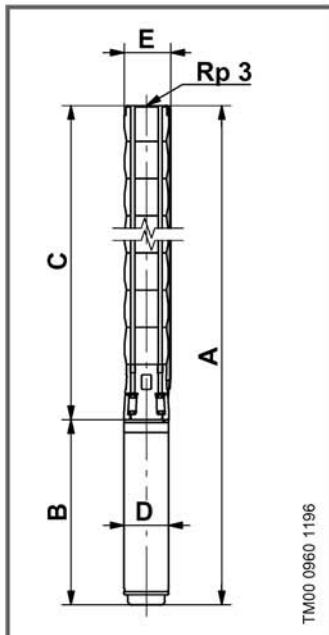
A 445

Aarau, 04.09.07

Grundwasser Wärmepumpe mit Rückgabe-  
Turbinierung, 5436 Würenlos

EBERHARD & Partner AG  
Geologie • Energie • Umwelt

## Technische Daten der Unterwasserpumpe Grundfos SP-30-8

**Technische Daten**Unterwasserpumpen  
SP 30, SP 30-N, SP 30-R**Maße und Gewichte**

SP 30-39 bis SP 30-49 sind in einem Mantelrohr mit Anschluß R 3 montiert.

Typ	Motor		C	Maße [mm]						Gew. Netto		
	Typ	Leistung P <sub>2</sub> [kW]		B		A		D	E*	E**	[kg]	
				1x230V	3x400V 3x500V	1x230V	3x400V 3x500V				1x230V	3x400V 3x500V
SP 30-1	MS 402	1,1	349	346	306	695	655	95	131		16	14
SP 30-1 N (R)	MS 4000 R	1,1	349		413		762	95	131			23
SP 30-1 N (R)	MS 4000 R	2,2	349	573		922		95	131		26	
SP 30-2	MS 402	2,2	445		346		791	95	131			20
SP 30-2 N (R)	MS 4000 R	2,2	445	573	453	1018	898	95	131		28	23
SP 30-3	MS 4000	3,0	541		494		1035	95	131			25
SP 30-4	MS 4000	4,0	637		574		1211	95	131			31
SP 30-5	MS 4000	5,5	733		674		1407	95	131			38
SP 30-6	MS 4000	5,5	829		674		1503	95	131			39
SP 30-7	MS 4000	7,5	925		773		1698	95	131			46
SP 30-8	MS 4000	7,5	1021		773		1794	95	131			48
SP 30-5	MS 6000	5,5	749		544		1293	138	142	142		49
SP 30-6	MS 6000	5,5	845		544		1389	138	142	142		51
SP 30-7	MS 6000	7,5	941		574		1515	138	142	142		53
SP 30-8	MS 6000	7,5	1037		574		1611	138	142	142		53
SP 30-9	MS 6000	9,2	1133		604		1737	138	142	142		62
SP 30-10	MS 6000	9,2	1229		604		1833	138	142	142		64
SP 30-11	MS 6000	9,2	1325		604		1929	138	142	142		65
SP 30-12	MS 6000	11	1421		634		2055	138	142	142		70
SP 30-13	MS 6000	11	1517		634		2151	138	142	142		72
SP 30-14	MS 6000	13	1613		664		2277	138	142	142		76
SP 30-15	MS 6000	13	1709		664		2373	138	142	142		78
SP 30-16	MS 6000	15	1805		699		2504	138	142	142		84
SP 30-17	MS 6000	15	1901		699		2600	138	142	142		85
SP 30-18	MS 6000	18,5	1997		754		2751	138	142	142		93
SP 30-19	MS 6000	18,5	2093		754		2847	138	142	142		94
SP 30-20	MS 6000	18,5	2189		754		2943	138	142	142		96
SP 30-21	MS 6000	18,5	2285		754		3039	138	142	142		98
SP 30-22	MS 6000	22	2381		814		3195	138	142	142		105
SP 30-23	MS 6000	22	2477		814		3291	138	142	142		107
SP 30-24	MS 6000	22	2573		814		3387	138	142	142		109
SP 30-25	MS 6000	22	2669		814		3483	138	142	142		110
SP 30-26	MS 6000	22	2765		814		3579	138	142	142		112
SP 30-27	MS 6000	26	2861		874		3735	138	142	142		119
SP 30-28	MS 6000	26	2957		874		3831	138	142	142		121
SP 30-29	MS 6000	26	3053		874		3927	138	142	142		123
SP 30-30	MS 6000	26	3149		874		4023	138	142	142		124
SP 30-31	MS 6000	26	3245		874		4119	138	142	142		126
SP 30-32	MS 6000	30	3341		944		4285	138	144	145		136
SP 30-33	MS 6000	30	3437		944		4381	138	144	145		137
SP 30-34	MS 6000	30	3533		944		4477	138	144	145		139
SP 30-35	MS 6000	30	3629		944		4573	138	144	145		141
SP 30-39	Franklin 6"	37	4260		1405		5665	136	175	181		243
SP 30-43	Franklin 6"	37	4644		1405		6049	136	175	181		254
SP 30-46	Franklin 6"	45	4932		1558		6490	136	175	181		277
SP 30-49	Franklin 6"	45	5220		1558		6778	136	175	181		285
SP 30-39	Franklin 8"	37	4209		986		5195	192	192	192		261
SP 30-43	Franklin 8"	37	4593		986		5579	192	192	192		271
SP 30-46	Franklin 8"	45	4881		1062		5943	192	192	192		291
SP 30-49	Franklin 8"	45	5169		1062		6231	192	192	192		300

\* Maximaler Durchmesser der Pumpe mit einem Motorkabel (Direktanlauf).

\*\* Maximaler Durchmesser der Pumpe mit zwei Motorkabeln (Stern-Dreieckanlauf).

SP 30-1 bis SP 30-35 sind auch in N- und R- Ausführung mit Motor in R- Ausführung lieferbar. Maße wie oben.

**Schaltkasten SA-SPM**

Zum Betrieb von Unterwasserpumpen mit Wechselstrom-Motor erforderlich. Bitte gesondert bestellen.

Typ	Für Motorleistung P <sub>2</sub> [kW]	Produkt-Nr.
SA-SPM 3	1,5	82 21 93 06
SA-SPM 3	2,2	82 21 93 07

## Technische Daten der Unterwasserpumpe Biral E6X50-6/7 + MC67

**RADIAL E6X50**  
**RADIALE**  
**RADIAL**

Biral AG  
 Südstrasse 10  
 3110 Münsingen

Telefon 031 720 90 00  
 Telefax 031 720 94 42  
 e-mail: biral@IBM.net



30.3.03

29

**Betriebsdaten 2 Pole / 50 Hz**  
 Caractéristiques de fonctionnement 2 Poles/50 Hz  
 Operating data 2 Pole/50 Hz

TYP TYPE TYPE	Motorleistung Puisissance moteur Motor power		Waagerechte Installation Installation horizontale Horizontal Installation	Rückschlagventil Clapet de retenue Check valve	FÖRDERLEISTUNG- DEBIT - CAPACITY .....										[l/s] [l/min] [m³/h]		
	[kW]	[HP]			0	5,8	6	6,5	7	7,5	8	8,2	8,4	8,6	8,8	9	9,2
					0	348	360	390	420	450	480	492	504	516	528	540	552
					0	20,9	21,6	23,4	25,2	27	28,8	29,5	30,2	31	31,7	32,4	33,1
GESAMTFÖRDERHÖHE - HAUTEUR MANOMETRIQUE TOTALE - TOTAL MANOMETRIC HEAD .....[m]																	
E6X50-4/3 + MCH43	2,2	3	■	2 1/2" Gas	29	23,5	23	22	20	18	16	15,5	14,5	13,5	12,5	12	11
E6X50-4/4 + MCH44	3	4			39	31,5	31	29	27	24	21	20	18,5	17,5	16	14,5	13,5
E6X50-6/5 + MC65	4	5,5			51	41	40,5	38,5	36,5	33,5	30,5	29	28	26,5	25	23,5	22
E6X50-6/7 + MC67	5,5	7,5			70	58	57	56	53	50	45	43	41	39	36,5	34,5	32
E6X50-6/10 + MC610	7,5	10			101	84	83	80	77	71	65	62	59	56	53	49,5	46,5
E6X50-6/12 + MC612	9,2	12,5			121	101	100	97	92	85	76	74	71	67	63	60	56
E6X50-6/15 + MC615	11	15			150	125	124	120	113	105	95	91	87	83	78	73	69
E6X50-6/17 + MC617	13	17,5			170	142	141	136	129	120	109	105	100	95	89	84	78
E6X50-6/20 + MC620	15	20			200	167	165	159	151	140	127	122	116	110	104	97	91
E6X50-6/25 + MC625	18,5	25			251	207	205	198	188	174	159	151	145	137	129	121	113
E6XB50-6/30 + MCH630	22	30	○		300	247	244	234	221	205	186	178	169	160	151	141	132
E6XB50-6/35 + MCH635	26	35			350	291	288	277	262	244	222	212	202	191	180	169	158
E6XB50-6/40 + MCH640	30	40			402	335	331	319	302	281	255	244	233	220	208	195	183
E6XB50-6/45 + MEH650	37	50			450	372	368	351	333	310	282	270	256	242	227	213	199
NPSH [m]						2	2	2	2,2	2,6	3,3	3,6	4	4,6	5	5,7	6,2

■ Ohne Rückschlagventilklappe - Sans Soupape du clapet - Without conical valve

□ Auf Anfrage - sur demande - On demand

○ Biral oder das Vertriebsnetz befragen - Contacter notre service commercial - Please contact our sales organisation

A 445

Aarau, 12.09.2007

Grundwasser Wärmepumpe mit  
 Rückgabe-Turbinierung, 5436 Würenlos

EBERHARD & Partner AG  
 Geologie • Energie • Umwelt