

Schlussbericht Oktober 2005

Erdwärmesondenfeld Aarau

Heizen und Kühlen („Free – Cooling“) eines grossen Bürogebäudes mit teilweise wärmeisolierten Erdwärmesonden

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

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	1
SUMMARY	1
1. AUFTRAG	1
2. ANLAGE	2
3. AUSGANGSLAGE / ZIEL	2
4. STANDORT / AUSLEGUNGSDATEN	3
5. ENERGIE	3
6. GEOLOGIE / HYDROGEOLOGIE / WÄRMELEITFÄHIGKEIT	4
7. MESSKONZEPT / MESSINSTALLATION	4
8. MESSRESULTATE	5
8.1 Aussen- und Raumtemperaturverhältnisse	5
8.2 Temperaturverhältnisse unmittelbar vor Eintritt in die Wärmepumpe und im Wärmekreislauf	6
8.3 Temperaturverhältnisse in den Sonden	8
8.4 Beeinflussung der Sonden untereinander	10
8.5 Stromverbrauch	10
8.6 Betriebsstunden	11
8.7 Durchfluss	11
9. EFFEKTIVER WÄRMEENTZUG, -RÜCKGABE AUS DEN BZW. IN DIE SONDEN	11
10. SAISONALE WÄRMESPEICHERUNG	12
10.1 Temperaturverhältnisse	12
10.2 Wärmespeicherung	13
11. ENERGIEBILANZ, JAHRESARBEITSZAHL	13
12. SOLL - IST VERGLEICH	14
13. EFFIZIENZ / WIRTSCHAFTLICHKEITSANALYSE	15
14. CO₂ EINSPARUNG DURCH EINE ERDWÄRMESONDENANLAGE	15
15. BETRIEBSERFAHRUNG	15
16. SCHLUSSFOLGERUNGEN	16
17. GRUNDLAGEN / LITERATUR	17
18. ANHANG	17
19. BEILAGEN	18

ZUSAMMENFASSUNG

Ein mit 16 Erdwärmesonden à je 150 m ausgestattetes Erdwärmesondenfeld beheizt im Winter in Kombination mit einem Gaskessel (bivalent) das Bürogebäude an der Hinteren Bahnhofstrasse in Aarau und bereitet zusätzlich dessen Brauchwarmwasser auf. Im Sommer wird die Betriebsabwärme der Büroräumlichkeiten mittels des Freecooling-Systems an das Erdreich um die Sonden abgegeben und sorgt hiermit für ein zusätzliches Wärmepolster für die Wintermonate.

Acht der Sonden wurden ab der Bodenplatte bis in eine Tiefe von 8 m isoliert um somit einen Wärmeaustausch zwischen Bodenplatte und Sonden zu verhindern und hiermit die Effizienz der Anlage zusätzlich zu verbessern. Die Datenerhebungen in den Jahren 2003 bis 2005 zeigen auf, dass die Anlage effizient läuft und keine gegenseitige Beeinflussung der Sonden stattfindet. Hierbei kann erkannt werden, dass die isolierten Sonden sowohl beim Wärmebezug wie auch bei der Wärmerückführung besser abschneiden. Ebenso kann aufgezeigt werden, dass mit Zunahme der Durchflussgeschwindigkeit in den Sonden der Wärmebezug aus dem Erdreich zunimmt aber die Wärmerückgabe ans Erdreich abnimmt. Die Wärmerückgabe ans Erdreich funktioniert in den höheren Bereichen wo die Gesteinstemperaturen noch nicht so hoch sind am besten wohingegen sie mit der Tiefe abnimmt.

Im Vergleich mit den konventionellen Heizsystemen wie Öl und Gas konnten in den 2 Überwachungsjahren im Falle von Öl 228 Tonnen und im Falle von Gas 174 Tonnen CO₂ eingespart werden. Gegenüber einer konventionellen Kühlanlage wurde mit dem Freecooling-Verfahren insgesamt 40MWh weniger Strom verbraucht. Trotz der hohen Stromeinsparungen kann die Effizienz beim Freecooling durch eine verbesserte Wärmeübertragung an den Wärmetauschern noch verbessert werden.

SUMMARY

The earth coupled heat pump system at the Hinteren Bahnhofstrasse in Aarau consists of 16 tube heat exchangers of 150 m length (i.e. depth) each. Hot water supply as well as heating of the office building is provided by this geothermal heat pump system, which could be supported by a gas boiler if necessary. For cooling purposes during the summer months, the waste heat of the building is circulated directly back into the underground such providing a heat storage for the coming winter.

Eight of the above mentioned tubes were heat insulated, from the basement of the building down to a depth of 8 m, in order to reduce significantly the loss of heat in this zone such improving the efficiency of the system. This has been actually confirmed by the control measurements obtained up to date.

Maintaining a distance of approximately 6 to 7 m among the tubes, no thermal interaction between those was detected. Both, heat extractions as well as the heat restitutions, are working more efficiently in the insulated tubes. Furthermore it was observed that the bigger the water flow, the higher the heat production but the lesser the heat return to the underground. In the free-cooling mode, most of the waste heat return of the building is occurring in the upper parts of the underground, where temperatures of the soil are still comparatively low.

Comparing the ground coupled heat pump system with a conventional heating system (e.g. oil or gas), a reduction of CO₂ emissions of 228 tons in the case of oil, and of 174 tons in the case of gas was achieved over a period of two years with geothermal heating. Over the same recording period, electricity savings of 40 MWh occurred in comparison with a conventional cooling system, i.e. by applying free-cooling. An ever higher economy of the free-cooling systems could be reached by further improving the thermal efficiency of the tube heat exchangers.

1. AUFTRAG

Im Zusammenhang mit der durch ein Erdwärmesondenfeld betriebenen Wärmepumpenanlage der Überbauung „Bahnhof Süd“ in Aarau erstellte die Firma EBERHARD & Partner AG im Mai 2001 ein über 2 Jahre laufendes Überwachungsprogramm zur Effizienzermittlung und Optimierung der Anlage. In der Folge reichte sie beim Bundesamt für Energie (BFE) ein Gesuch zur finanziellen Unterstützung der vorgeschlagenen Messanordnung, Tests, Datenerhebung und -auswertung ein.

Aufgrund dieses Gesuches vom 26. November 2001 wurde der EBERHARD & Partner AG mit Verfügung vom 8. Februar 2002 vom Bundesamt für Energie (BFE) der Auftrag zur Durchführung des vorgeschlagenen Messkonzeptes mit der dafür notwendigen zusätzlichen Anlageninstallation erteilt.

2. ANLAGE

Die hier realisierte, grösstenteils mit umweltfreundlicher Erdwärme, d.h. geothermisch betriebene Heizanlage befindet sich in der Stadt Aarau an der Hinteren Bahnhofstrasse (Parzellen Nr. 1361-1363 und 1388 – Gesamtfläche 7'210 m² – Beilage 1). Es wurden ein Bürogebäude (Beilagen 2-4) und zwei Punkthäuser erstellt. Die Heizanlage des Bürogebäudes (ohne Brauchwarmwasseraufbereitung) ist bivalent (Gas-, Sole-Wasser-Wärmepumpe) und weist einen totalen Wärmebedarf (= Heizleistung) von 235.3 kW (Auslegung bei – 8°C / Raumheizung 122.4 kW, Luftheritzer 112.9 kW) auf. Der Anteil, welcher durch die Wärmepumpe abgedeckt wird, ist dabei 111.2 kW. Der Rest wird durch einen Gaskessel gestellt. Vorgesehen war, die Anlage auf eine Jahresarbeitszahl (JAZ) von 4.64 auszurichten. Die beiden Punkthäuser werden separat durch eine Gasheizung beheizt.

Die für die Wärmeerzeugung benötigten Erdwärmesonden liegen hauptsächlich in den Malmkalen/-mergeln (Beilagen 7-9). Mit einer prognostizierten durchschnittlichen Wärmezufuhr von 35.6 W pro Laufmeter Sonde musste somit eine totale Sondenlänge von 2400 m erreicht werden. Insgesamt wurden 16 Erdwärmesonden realisiert, welche in zwei Reihen bis auf 150 m Tiefe zu liegen kommen und ab OK Bodenplatte (im Falle von 8 Sonden schon ab 8 m unter der Bodenplatte) bis zur Wärmepumpenanlage mit einer Tubolit-Isolation (2 cm dick) isoliert wurden (Beilagen 3, 5 und 10).

3. AUSGANGSLAGE / ZIEL

Anfang 2002 wurden in Aarau auf dem Gelände der Überbauung Bahnhof Süd (an der Hinteren Bahnhofstrasse in Aarau) 16 Erdwärmesondenbohrungen à 150 m niedergebracht. Von den 16 Sonden wurden 8 Sonden im obersten Bereich bis in eine Tiefe von 8 m isoliert, die anderen 8 Sonden wurden konventionell eingebaut. Ziel war es, mit dieser Ausstattung den Kosten-Nutzen-Effekt einer Isolierung der obersten Schichten eruieren und messen zu können. In den 16 Sonden wurden 19 Temperaturfühler in 15 m, 100 m und 150 m Tiefe verteilt, so dass in jeder Sonde ein oder zwei Temperaturfühler vorliegen. Die Sonden wurden in der Bodenplatte des Gebäudes bis zum Sammelblock (Verteiler) isoliert geführt. Dort wurden die isolierten und unisolierten Sonden zusammengeführt. Vor der Zusammenführung ist am isolierten wie auch am unisolierten System je ein Wärmezähler zur separaten Erfassung des Wärmebezugs installiert (Beilagen 2, 3, 5, 6, 11, 12, 13, 14). Die Anlage wird im Winter zur Beheizung des Gebäudes, im Sommer - unter Umgehung der Wärmepumpen - zum Kühlen (sog. Freecooling) verwendet. Vor der definitiven Installation wurden die Wärmeleitfähigkeiten der einzelnen geologischen Schichten bestimmt und ein Resonsetest in einer Sonde durchgeführt.

Ziele des Forschungsprojektes sind:

- Effizienzermittlung von 8 isolierten und 8 unisolierten Erdwärmesonden in derselben Überbauung
- Vergleich von Wärmeentnahme- und Rückgabe der beiden Erdwärmesondenreihen
- Effizienzvergleich mit ähnlichen Anlagen
- Bodentemperaturerfassung in unterschiedlichen Tiefen in den Erdwärmesonden

Folgende Parameter wurden automatisch in regelmässigen Abständen (5 min) erfasst:

- Aussentemperaturen (in °C)
- Temperatur in °C in den Erdwärmesonden (19 Fühler in 15 m, 100 m und 150 m Tiefe)
- Wärmezählung im Primärkreislauf der isolierten Sonden (in kWh)
- Wärmezählung im Primärkreislauf der unisolierten Sonden (in kWh)
- Wärmezählung im Sekundärkreislauf (in kWh)
- Vor- und Rücklauftemperaturen im Primärkreislauf der isolierten Sonden (in °C)
- Vor- und Rücklauftemperaturen im Primärkreislauf der unisolierten Sonden (in °C)
- Vor- und Rücklauftemperaturen im Sekundärkreislauf, Wärmekreislauf (in °C)
- Stromverbrauchsermittlung der Verdichter in der Wärmepumpe (in kWh)
- Betriebsstundenzählung der Verdichter (Verdichter 1 und 2) in der Wärmepumpe (in h)
- Betriebsstundenzählung der Umwälzpumpen 1 und 2 im Primärkreislauf (in h)

Nach der Installation der Wärmepumpenanlage konnten ab dem 12. März 2003 die Daten erfasst und via Telefonleitung abgerufen werden. Die Messung der Aussentemperatur erfolgte erst ab dem 8. April 2003. Die Messfrequenz ist bei allen Temperaturfühlern von Beginn weg 1 Messung alle 5 Minuten. Bei den restlichen Daten beträgt sie vom Messbeginn bis zum 6. Mai 2003 1 Messung alle 8 Stunden (Summe). Am 6. Mai 2003 wurde die Messfrequenz bei sämtlichen Loggern auf 1 Messung alle 5 Minuten eingerichtet. Die Daten wurden von uns monatlich per Modem abgefragt. Die zweijährige Messauswertung wird in eine Heiz- (Sep. – Mai) und in eine Kühlperiode (Freecooling, Jun. – Aug.) unterteilt. Die Grenze zwischen Heizen und Kühlen ist aufgrund der Temperaturschwankungen fließend. Die dargestellten Temperaturen beziehen sich somit auf den Heiz- respektive Kühlbetrieb, sowie auf einen Übergangsbereich, in welchem sowohl geheizt als, auch gekühlt wird.

4. STANDORT / AUSLEGUNGSDATEN

Die Wärmepumpenanlage befindet sich in Aarau in der Überbauung „Bahnhof Süd“, unmittelbar südlich des Aarauer Bahnhofs (Hintere Bahnhofstrasse 6-10). Der Wärmebedarf des Bürogebäudes mit der Gesamtfläche von 7210 m² liegt bei total 235.3 kW. Der Wärmebedarf wird durch eine bivalente Anlage (Gaskessel: 124.1 kW, Sole-Wasser-Wärmepumpe: 111.2 kW) abgedeckt. Bei den im Heizungsraum im Dachgeschoss eingesetzten Sole-Wasser-Wärmepumpen handelt es sich um zwei Maschinen der SATAG/Viessmann, Typ BW 254.1 mit einer maximalen Heizleistung von 111.2 kW (S 0°C/ W 35°C).

Baujahr der Anlage:	2002
Beheizte Fläche:	7'210 m ² (ca. 32.64 W/m ² EBF)
Länge der EWS (m):	16 x 150 m = 2'400 m
Wärmeverteilung:	Deckenstrahler, Raumluft
Wärmeleistungsbedarf des Hauses (-8°C Aussentemp.):	235.3 kW (EWS & Gaskessel)
Max. Heizleistung WP (bei S 0°C/ W 35°C):	111.2 kW
Leistung EWS (Verdampfer):	2 x 42.7 kW = 85.4 kW
Leistung Kompressor:	2 x 12.9 kW = 25.8 kW
Leistung Umwälzpumpen (UP) Sondenkreislauf:	
Grundfos; UPS 40-60	0.38 kW
Grundfos; UPS 50-180	1.07 kW
Wärmepumpen Typ:	BW 254.1 (2 Stück)
Fabrikat:	SATAG Natura
Frostmittel im Sondenkreislauf:	Ethylenglykol 20 %
Kältemittel:	R 407 C
Aussentemperaturfühler (Typ, Lage):	PT 100, Nordseite des Gebäudes
Planung/ Beratung/ Installation:	Amstein + Walther, Engeo AG, EBERHARD & Partner AG

5. ENERGIE

Periode: Juni 2003 bis Mai 2005 (Beilagen 16 und 19-22)

	Jahr	FC* 03	HP** 03/04
	Jun 03 – Jun 04	Jun 03 – Sep 03	Sep 03 – Jun 04
Erbrachte Heizenergie:	418'953 kWh/a		418'953 kWh
Genutzte Erdwärme:	344'172 kWh/a		344'172 kWh
Wärmerückgabe:	91'104 kWh/a	91'104 kWh	
Stromverbrauch WP (Verdichter):	92'649 kWh/a		92'649 kWh
Stromverbrauch UP:	6'349 kWh/a	2'097 kWh	4'252 kWh
Verluste:	17'868 kWh/a		17'868 kWh
Betriebsstunden WP:	6'387 h	1'953 h	4'434 h
JAZ (nur WP):	4.5		4.5
JAZ (WP und UP):	4.3		4.3

	Jahr	FC* 04	HP** 04/05
	Mai 04 – Mai 05	Mai 04 – Sep 04	Aug 04 – Mai 05
Erbrachte Heizenergie:	413'113 kWh/a		413'113 kWh
Genutzte Erdwärme:	346'912 kWh/a		346'912 kWh
Wärmerückgabe:	61'465 kWh/a	61'465 kWh	
Stromverbrauch WP (Verdichter):	93'211 kWh/a		93'211 kWh
Stromverbrauch UP:	5'896 kWh/a	1'523 kWh	4'373 kWh
Verluste	27'01 kWh/a		27'010 kWh
Betriebsstunden WP:	6'043 h	1'420 h	4'623 h
JAZ (nur WP):	4.4		4.4
JAZ (WP und UP):	4.2		4.2

FC* = Freecooling im Sommer, HP** = Heizperiode, WP = Wärmepumpe, UP = Umwälzpumpen

6. GEOLOGIE / HYDROGEOLOGIE / WÄRMELEITFÄHIGKEIT

Von den Sonden 1, 8 und 15 (Beilagen 3, 7, 8 und 9) wurde je ein geologisches Profil aufgenommen. Der Untergrund baut sich im ausgebauten Sondenbereich (ab Bodenplatte) aus Malmkalken auf. In den oberen 6 m liegen die Crenularis-Schichten und anschliessend die 26 m mächtigen Geissberg-Schichten vor. In den restlichen 108 m bis zur Endtiefe der Bohrungen liegen die Effinger-Schichten vor. In der Tiefe von 30 – 40 m wurden in einigen der realisierten Bohrungen Wasserzutritte festgestellt (Beilagen 3, 7, 8 und 9). An 8 Gesteinsproben wurden Wärmeleitfähigkeitsmessungen durchgeführt (Beilage 15). Die höher liegenden Kalkschichten (Crenularis- und Geissberg-Schichten) weisen eine mittlere Wärmeleitfähigkeit von 3.1 W/mK, die tiefer liegenden, tonigeren Effinger-Schichten eine durchschnittliche Wärmeleitfähigkeit von 2.1 W/mK auf (Beilagen 7, 8, 9 und 15). Die durch einen Responsetest in der Bohrung Nr. 8 ermittelte mittlere thermische Leitfähigkeit der Untergrundgesteine ergab einen Wert von 2.4 W/mK (Beilage 15).

	Responsetest	Messung 2003/2004	Messung 2004/2005
spezifische Entzugsleistung	27.7 W/m	34.0 W/m	33.7 W/m

Tabelle 1: Durch den Responsetest ermittelte spezifische Entzugsleistung des Untergrundes

7. MESSKONZEPT / MESSINSTALLATION

Wie schon bei der Parameterrauflistung ersichtlich, werden bei der Anlage auf der Primärseite die Sondentemperaturen in drei Tiefen (15 m, 100 m, 150 m) in einem separat versetzten Rohr ($\varnothing$ 32 mm) erfasst (Beilage 10). Zusätzlich werden auf der Primärseite nach dem Sammelblock der Sonden die Vor- und Rücklauftemperaturen der isolierten und unisolierten Sonden separat ermittelt. Im Sekundärkreislauf werden die Vor- und Rücklauftemperaturen ebenso erfasst (Beilagen 11, 19 - 22).

Mittels drei Wärmezählern wird die Wärmezufuhr im Primärkreislauf (isoliertes und unisoliertes System mit je einem Wärmezähler) und der Wärmeverbrauch im Sekundärkreislauf mit einem weiteren Wärmezähler überwacht. Bei den Verdichtern der beiden Wärmepumpen werden sowohl die Betriebsstunden als auch der Stromverbrauch, bei den beiden Primär-Umwälzpumpen die Betriebsstunden zusätzlich separat registriert (Beilagen 11 - 14 und 19 - 22). Ein Aussentemperaturfühler erlaubt es, den jeweiligen Wärmebezug bzw. die Temperaturverhältnisse in den Sonden in Relation zu den Aussentemperaturverhältnissen zu setzen.

8. MESSRESULTATE

Die Messerhebungen erfolgten von Anfang Juni 2003 bis Mai 2005. Zur Auswertung der Daten wurde die **Messperiode** in zwei **Heiz- (Aug. – Mai)** und zwei **Kühlungsperioden (Sommer: Mai. – Sep.)** aufgeteilt (Beilagen 16-22).

8.1 Aussen- und Raumtemperaturverhältnisse

Aussentemperaturen

Der sehr heisse Sommer 2003 erbrachte meteorologisch einen Wärmerekord. Im Durchschnitt lagen die Temperaturen in diesem Jahr in den Monaten Juni, Juli und August ca. 6°C höher als in den Vorjahren. Während der Messperiode vom Juni 2003 bis Mai 2005 lagen die Temperaturen im Monatsmittel zwischen 0.2° (Feb. 05) bis 25.3°C (Jun. 03, vgl. Beilagen 17 und 23). Der Messfühler ist an der Nordseite des Gebäudes auf der Höhe des 5. Obergeschosses montiert.

Raumtemperaturen

Die Raumtemperatur wurde nicht separat erfasst. Im Heizbetrieb ist die Anlage so eingestellt, dass eine Raumtemperatur von 22 – 23°C erreicht wird. Die Mieter haben zudem die Möglichkeit, die Standardraumtemperatur individuell nach oben oder unten anzupassen.

Im Kühlbetrieb wird das Trägermedium in den Deckenstrahlern direkt über den Plattentauscher mit der Sole der Erdwärmesonden abgekühlt. Bei einer Aussentemperatur von 30°C resultiert mit diesem Kühlsystem eine Raumtemperatur, welche um 5 - 6°C tiefer, also zwischen 24 und 25°C liegt. Die Trägerflüssigkeit der Deckenstrahler wird beim Wärmetauscher von 26.0 °C auf 23.9 °C (Sommer 2003) respektive von 23.7°C auf 21.6°C (Sommer 2004) heruntergekühlt (Beilage 17). Dies entspricht einer Temperaturdifferenz von 2.1 K.

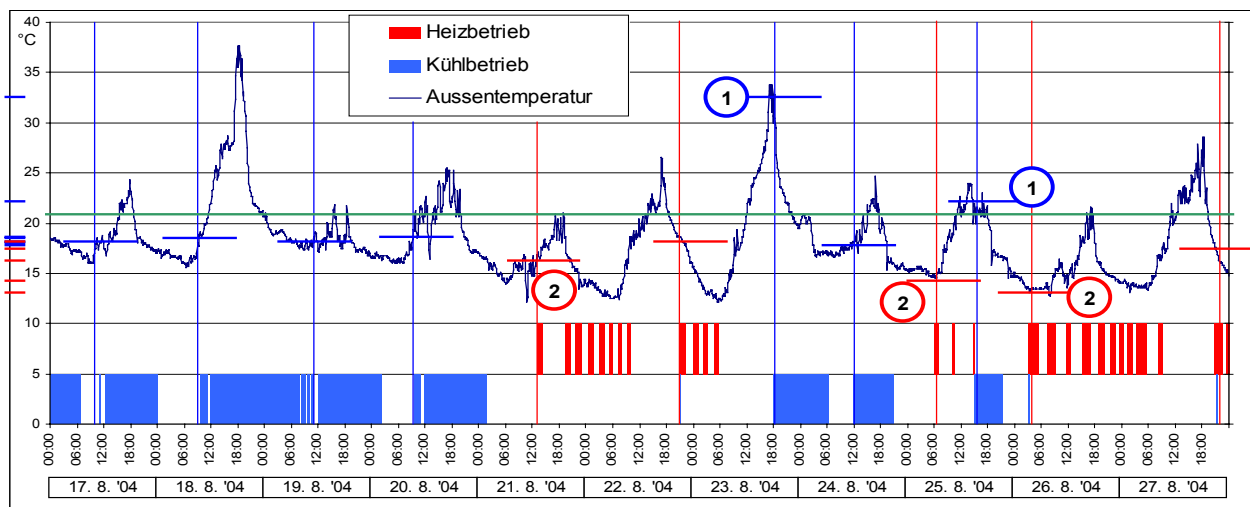


Tabelle 2: Zeitraum 17.8.2004 bis 27.8.2004 mit Aussentemperatur sowie Kühl- und Heizbetrieb

Grüne Linie: angestrebte Raumtemperatur, Rote Linie: Aussentemperatur, bei der die Heizung einschaltet, Blaue Linie: Aussentemperatur, bei der die Kühlung einschaltet

In der obigen Tabelle ist ersichtlich, dass die Anlage in der Zwischensaison oft zwischen Heizen und Kühlen wechselt, um die Raumtemperatur möglichst konstant zu halten. Die Kühlung setzt dabei, bei hohen Aussentemperaturen unmittelbar nach einer Heizphase, verzögert ein (Punkt 1 in Tabelle 2, Pufferung durch die Gebäudesubstanz, Isolation) und nach einer Kühlphase setzt der Heizbetrieb bei tiefen Aussentemperaturen relativ spät ein (Punkt 2 in Tabelle 2).

8.2 Temperaturverhältnisse unmittelbar vor Eintritt in die Wärmepumpe und im Wärmekreislauf

Primärkreislauf (Sonden)

Die Temperaturverhältnisse (Monatsmittel) im Primärkreislauf unmittelbar vor Eintritt respektive Austritt aus der Wärmepumpe ergeben in der Periode vom Juni 2003 bis Mai 2005 folgende Werte (Beilagen 17 und 30):

		Temperatur (Heizperiode) September bis Mai			Temperatur (Freecooling) Juni bis August		
		min	Ø	max	min	Ø	max
Jahr 2003 / 2004	Vorlauf isoliert	3.2	6.4	15.3	17.2	19.0	20.2
Jahr 2003 / 2004	Vorlauf unisoliert	1.9	6.5	15.5	17.1	18.9	20.1
Jahr 2003 / 2004	Rücklauf isoliert	-0.6	3.1	12.8	19.3	21.4	22.9
Jahr 2003 / 2004	Rücklauf unisoliert	-0.7	2.9	12.6	19.2	21.3	22.8
Jahr 2004 / 2005	Vorlauf isoliert	0.9	4.9	11.5	11.3	15.8	16.7
Jahr 2004 / 2005	Vorlauf unisoliert	1.3	5.3	11.8	11.5	15.7	16.6
Jahr 2004 / 2005	Rücklauf isoliert	-2.4	2.0	8.5	13.5	18.2	19.2
Jahr 2004 / 2005	Rücklauf unisoliert	-2.7	1.5	8.4	13.4	18.1	18.9

Tabelle 3: Durchschnittstemperaturen im Primärkreislauf (Vor- und Rücklauf unmittelbar nach der Sonde)

Die Differenz der Vor- und Rücklauftemperaturen im Primärkreislauf betrug bei vollem Heizbetrieb beider Wärmepumpen beim nicht isolierten System etwas über 4 K, beim isolierten System ca. 3.5 K. Sobald die Heizleistung durch Abschalten einzelner Verdichter reduziert wird, resultiert eine geringere Temperaturdifferenz (Tabelle 5). Im Freecoolingbetrieb betrug die Differenz von Vor- und Rücklauf sowohl im nicht isolierten wie isolierten System rund 2.5 K (Tabelle 5).

Sekundärkreislauf (Wärmekreislauf)

Die Temperaturen (Monatsmittel) im Sekundärkreislauf liegen in den Heizperioden im Vorlauf bei durchschnittlich 35°C und im Rücklauf bei durchschnittlich 28°C (Beilagen 17 und 30). Es resultiert somit vom Vor- zum Rücklauf eine Temperaturdifferenz von rund 8 K (Tabelle 5). Im Freecoolingbetrieb liegt die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf bei durchschnittlich 2.8 K.

		Temperatur (Heizperiode) September bis Mai			Temperatur (Freecooling) Juni bis August		
		min	Ø	max	min	Ø	max
Jahr 2003 / 2004	Vorlauf	28.2	36.3	44.6	24.6	26.0	26.7
Jahr 2003 / 2004	Rücklauf	21.7	28.1	33.9	22.5	23.9	25.4
Jahr 2004 / 2005	Vorlauf	32.6	35.3	36.4	22.2	23.7	26.5
Jahr 2004 / 2005	Rücklauf	26.3	27.5	29.0	20.8	21.6	22.2

Tabelle 4: Durchschnittstemperaturen im Vor- und Rücklauf des Wärmekreislaufs (Monatsmittel).

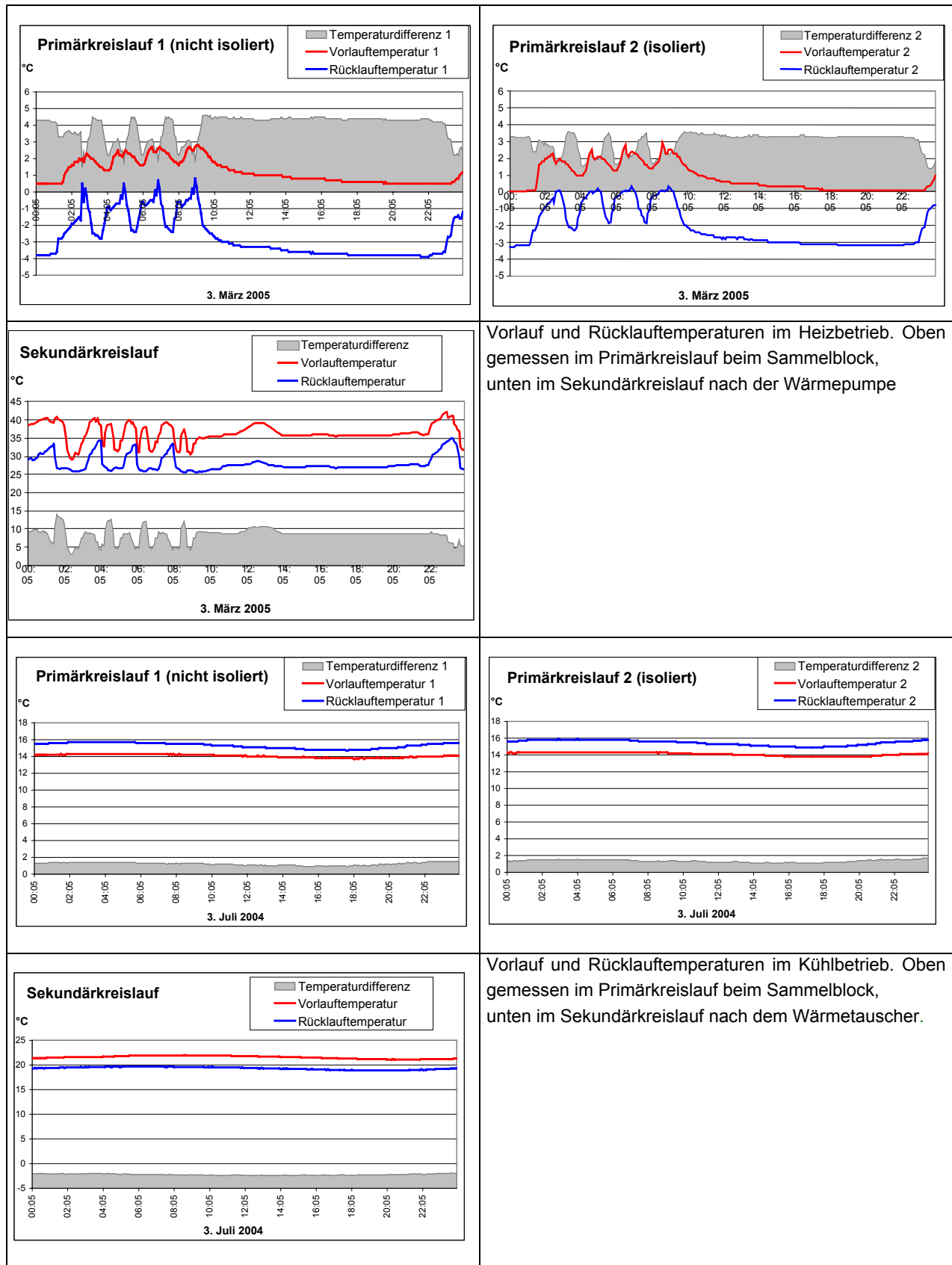


Tabelle 5: Vorlauf und Rücklauftemperaturen im Heizbetrieb. Oben gemessen im Primärkreislauf beim Sammelblock, unten im Sekundärkreislauf nach der Wärmepumpe.

8.3 Temperaturverhältnisse in den Sonden

Sondentemperaturen

Die Sondentemperaturen schwankten im Zeitraum Juni 2003 bis Mai 2005 entsprechend den Jahreszeiten, respektive dem Wärme- oder Kältebetrieb (Beilagen 17, 26 und 27).

Sondentiefe	Temperatur (Heizperiode) September bis Mai			Temperatur (Freecooling) Juni bis August		
	min	Ø	max	min	Ø	max
isolierte Sonden						
15 m	-0.2	4.6	13.8	11.0	16.5	19.3
45 m	0.2	4.8	14.1	10.3	16.4	19.4
100 m	1.7	6.0	14.6	10.1	16.0	18.7
150 m	2.2	6.5	15.1	11.7	16.7	19.2
unisolierte Sonden						
15 m	-0.2	4.3	13.2	10.9	16.7	19.5
100 m	0.2	4.8	13.9	10.8	16.6	19.4
150 m	1.7	6.3	15.7	11.6	17.1	19.6

Tabelle 6: Monatsdurchschnittstemperaturen in den Sonden in entsprechender Tiefe bei Heiz- respektive Kühlbetrieb. HP: Heizperiode (September – Mai), FC: Freecooling (Juni – August)

Heizperiode

Im Heizbetrieb sind die Temperaturen in einer Tiefe von 15 m am tiefsten und auf 150 m am wärmsten. Die Temperaturverhältnisse in den Sonden lassen erkennen, dass in beiden Heizperioden sowohl im isolierten wie auch im unisolierten System die tiefsten Temperaturen jeweils im Januar in 15 m Tiefe und die höchsten Temperaturen (ohne Beeinflussung durch den Freecooling-Input) im Mai in 150 m Tiefe registriert werden können. Der geothermische Tiefengradient ist somit trotz der kontinuierlichen Wärmeentnahme immer noch sichtbar. Generell liegen die Temperaturen des isolierten Systems auf allen Tiefen leicht höher (ca. 0.2 K / Beilagen 17, 28, Tabelle 6).

Freecooling

Im Freecoolingbetrieb sind die Temperaturen in den Sonden recht ausgeglichen. In 100 m Tiefe sind sie jedoch jeweils am tiefsten. Auf 15 m, 45 m und 150 m liegen sie etwas über diesen Werten (Beilagen 17, 26 und 27). Die Temperaturen in den isolierten Sonden sind während des Freecoolings generell etwas tiefer (ca. 0.5 K) als in den unisolierten Sonden. Durch die Isolation wird die isolierte Sonde somit erfolgreich gegen die warmen Temperaturen des Gebäudes (Bodenplatte) abgeschirmt. Da auch im Freecoolingbetrieb die höchsten Temperaturen in 150 m registriert werden, kann ausgesagt werden, dass hier auch während der Kühlung der Gebäude ein Wärmeaustausch vom Erdreich in die Sonde erfolgt. Eine Rückführung der Gebäudeabwärme ins Erdreich ist in dieser Tiefe somit nur noch bedingt möglich (Beilage 33 und 34).

Vergleich der Temperaturen unmittelbar vor Eintritt in die Wärmepumpen mit jenen in 15 m Tiefe

Ein Vergleich der Sondentemperaturen im Heizbetrieb unmittelbar vor Eintritt in die Wärmepumpe mit jenen in 15 m Tiefe zeigt auf, dass beim isolierten System eine Erwärmung von 0.9 K und beim unisolierten System eine solche von 1.3 K erfolgt. Durch die Isolation wird somit im Winterbetrieb der Wärmeverlust erfolgreich reduziert.

Im Freecoolingbetrieb, bei welchem die Betriebsabwärme direkt in die Sonden abgeführt wird lässt sich nach dem Sondendurchlauf im isolierten System von 15 m Tiefe bis zum Sammelblock wiederum eine Erwärmung von 0.9 K und im Falle des unisolierten Systems eine solche von 0.6 K erkennen. Im Falle des nicht isolierten Systems kann somit auf der Wegstrecke von 8 m (ab hier liegt im isolierten System die Isolation vor) bis zur Bodenplatte noch 0.3 K zusätzlich ans Erdreich abgeführt werden.

Vergleich der einzelnen Erdwärmesonden untereinander

Ausgangslage

Vergleicht man die Temperaturen in den Sonden der Heizperiode 2003/2004 und 2004/2005 miteinander so fällt auf, dass diejenigen im 2004/2005 bei praktisch derselben Wärmeentnahme aus dem Untergrund auf allen Tiefenlagen

deutlich unter jenen des Vorjahres liegen. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass im 2003 (Hitzesommer) rund 30'000 kWh mehr Wärme in den Untergrund eingeleitet wurden wie im 2004 (Beilage 19 und 21) und die Sondentemperaturen im Sommer 03 dementsprechend wiederum in allen Tiefenlagen höher lagen als im Sommer 04 (siehe Kapitel 10, Tabelle 13).

Bei den folgenden Ausführungen ist zu beachten, dass in den Erdwärmesonden nicht in jeder Tiefe (15 m, 100 m, 150 m) ein Temperaturfühler versetzt wurde. Die Temperaturen können somit nur ausschnittsweise miteinander verglichen werden (Beilage 3, 24, 25). In den Sonden 11 und 13 konnten die Temperaturfühler nicht tiefer als auf 43 bzw. 45 m versetzt werden.

Betrachtet man die Temperaturen der einzelnen Sonden untereinander so lässt sich erkennen, dass in der isolierten Sonde 16 im Sommer 03 in 100 und 150 m die tiefsten Temperaturen registriert werden können (in 15 m Tiefe wurde kein Temperaturfühler versetzt). Im Sommer 04 liegen in 150 m Tiefe die tiefsten Temperaturen wiederum in Sonde 16, während in den Heizperioden in 100 und 150 m in derselben Sonde die höchsten Temperaturen registriert werden. Da in diesem Bohrloch nur noch ein Sondenkreislauf funktioniert ist dies auf den erhöhten Durchfluss zurückzuführen, indem durch diesen im Sommer mehr Wärme als in den anderen Sonden ins Erdreich zurückgeführt wird und im Winter dem Boden weniger Wärme entzogen werden kann (siehe Forschungsbericht Nr. 35889, Wärmepumpen-Anlage Chestonag Automation AG, Seengen (AG)). In der nicht isolierten Sonde 8 kann gerade das Umgekehrte festgestellt werden indem im Sommer in dieser Sonde auf 100 und 150 m Tiefe die höchsten und im Winter auf 100 m die tiefsten Temperaturen registriert werden können (in 15 m Tiefe wurde kein Temperaturfühler versetzt). In 150 m jedoch können in dieser Sonde keine Tiefstwerte registriert werden. Der Schluss liegt somit nahe, dass in dieser Sonde der Durchfluss reduziert ist. Betrachtet man die Temperaturen der in 15 m Tiefe versetzten Temperaturfühler so lässt sich erkennen, dass in der isolierten Sonde 10 und in der nicht isolierten Sonde 6 derselbe Bezug vorliegt. Das gilt ebenso für die isolierten Sonden 11 und 13. Bei Sonde 16 muss die Sachlage insofern relativiert werden als dass mit nur einem Sondenkreislauf nur ca. 80% des ursprünglichen Wärmeumsatzes erreicht wird. Insgesamt lässt sich anhand der betrachteten Temperaturen erkennen, dass der Durchfluss nicht in allen Sonden derselbe ist und dass tendenziell in den isolierten Sonden der grössere Durchfluss vorliegt wie in den nicht isolierten Sonden (siehe auch Kapitel 8.7).

Sommer 2003		Sonden (nicht isoliert)								Sonden (isoliert)							
Sonden Nr. (Beilage 3)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Tiefe der Temperatursonden [m]		15	15	23	15	150	105	150	100 150	100	15	15	43	45	104	100 148	15 150
Wassereintritte in den Bohrungen		+	++	+	+	+	+	+	+	+	++	++	++	+	++	++	++
Temperatur in 15 m Tiefe	max	19.4			19.4		20.3	19.7			18.3		19.6			19.9	
Temperatur in 45 m Tiefe												19		19.7			
Temperatur in 100 m Tiefe	max			18.3					20.4	19.1					18.8		18.2
Temperatur in 150 m Tiefe	max		19.4			19.3			20.3							20.0	18.3

Heizperiode 2003 / 2004		Sonden (nicht isoliert)								Sonden (isoliert)							
Sonden Nr. (Beilage 3)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Tiefe der Temperatursonden [m]		15	15	23	15	150	105	150	100 150	100	15	15	43	45	104	100 148	15 150
Wassereintritte in den Bohrungen		+	++	+	+	+	+	+	+	+	++	++	++	+	++	++	++
Temperatur in 15 m Tiefe	min	2.1			2.2		1.1	1.1			3.3		1.3			0.9	
Temperatur in 45 m Tiefe												3.4		1.6			
Temperatur in 100 m Tiefe	min			4.5					0.4	3.1					3.3		5.0
Temperatur in 150 m Tiefe	min		4.2			2.5			4.2							1.4	6.8

Sommer 2004		Sonden (nicht isoliert)								Sonden (isoliert)							
Sonden Nr. (Beilage 3)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Tiefe der Temperatursonden [m]		15	15	23	15	150	105	150	100	100	15	15	43	45	104	100	15
									150							148	150
Wassereintritte in den Bohrungen		+	++	+	+	+	+	+	+	+	++	++	++	+	++	++	++
Temperatur in 15 m Tiefe	max	16.3			16.0		16.7	15.9			15.8		16.2			16.5	
Temperatur in 45 m Tiefe												15.1		16.3			
Temperatur in 100 m Tiefe	max			14.8					16.7	15.6					15.1		15.2
Temperatur in 150 m Tiefe	max		16.3			16.1			16.8							16.6	15.4

Heizperiode 2004 / 2005		Sonden (nicht isoliert)								Sonden (isoliert)							
Sonden Nr. (Beilage 3)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Tiefe der Temperatursonden [m]		15	15	23	15	150	105	150	100	100	15	15	43	45	104	100	15
									150							148	150
Wassereintritte in den Bohrungen		+	++	+	+	+	+	+	+	+	++	++	++	+	++	++	++
Temperatur in 15 m Tiefe	min	0.2			0.0		-1.1	-1.0			1.0		-0.7			-0.9	
Temperatur in 45 m Tiefe												0.9		-0.4			
Temperatur in 100 m Tiefe	min			2.0					-1.6	1.0					1.3		2.8
Temperatur in 150 m Tiefe	min		2.3			0.4			2.2							-0.5	4.8

Tabelle 7: Temperaturvergleich in den Erdwärmesonden. + wenig Wasser, ++ viel Wasser. Rot: höchste Temperatur. Blau: tiefste Temperatur (vgl. Beilage 3, 24,25).

8.4 Beeinflussung der Sonden untereinander

Ein sich über den gesamten Tiefenbereich von 150 m erstreckender Temperaturvergleich von zwei unmittelbar nebeneinander liegender Sonden ist aufgrund der selektiven Versetzung der Temperaturfühler in den Sonden nicht möglich. Vergleicht man die auf derselben Tiefenlage registrierten Temperaturen von unmittelbar nebeneinander platzierten Sonden wie z.B. die Sonden 6 und 7 oder die Sonden 11 und 13 so lässt sich im Falle der Sonden 6 und 7 erkennen, dass in diesem Tiefenbereich keine gegenseitige Beeinflussung der Sonden feststellbar ist. Im Falle der Sonden 11 und 13 sind hingegen deutliche Temperaturunterschiede erkennbar. Diese können jedoch auf die unterschiedlichen Durchflüsse in den Sonden zurückgeführt werden.

8.5 Stromverbrauch

Der gesamte Stromverbrauch setzt sich in der Heizperiode und in der Freecoolingperiode wie folgt zusammen:

Die Wärmeerzeugung erfolgt mit zwei Satag/Viessmann-Wärmepumpen BW 254.1. Je nach Wärmebedarf laufen eine oder beide Wärmepumpen. Beim Betrieb von nur einer Wärmepumpe läuft die kleine Soleumwälzpumpe (UP 1), beim Betrieb beider Wärmepumpen die grosse Soleumwälzpumpe (UP 2). Beim Kühlbetrieb läuft die grosse Soleumwälzpumpe (UP 2). Es sind nie beide Umwälzpumpen in Betrieb (Beilagen 16, 19 – 22).

Saison	Periode	Verdichter 1	Verdichter 2	UP 1	UP 2	Total
Leistungsaufnahme		12.9 kW	12.9 kW	0.38 kW	1.074 kW	
		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Sommer 2003	Jun. – Sep.			1	2'096	2'097
Heizperiode 03/04	Jul. – Jun.	45'844	46'805	285	3'967	96'901
Sommer 2004	Mai – Sep.			1	1'522	1'523
Heizperiode 04/05	Aug. - Mai	45'907	47'304	324	4'049	97'584

Tabelle 8: Stromverbrauch der Wärmepumpen (Verdichter) und der Sole-Umwälzpumpen (UP).

8.6 Betriebsstunden

Es wurden sowohl die Betriebsstunden der Wärmepumpen als auch der Soleumwälzpumpen aufgezeichnet (Beilage 16 und 32).

Saison	Periode	WP 1	WP 2	UP 1	UP 2
		h	h	h	h
Sommer 2003	Jun. – Sep.			2	1'952
Heizperiode 03/04	Jul. – Jun.	4'138	4'046	749	3'685
Sommer 2004	Mai – Sep.			3	1'417
Heizperiode 04/05	Aug. - Mai	4'203	4'177	853	3'770

Tabelle 9: Betriebsstunden der Wärmepumpen (WP, Verdichter) und der Soleumwälzpumpen (UP).

8.7 Durchfluss

Die Sole der beiden Erdwärmesondenfelder (8 Sonden mit Isolation bis in eine Tiefe von 8 m und 8 Sonden ohne Isolation) wird in einem Sammelblock (Beilagen 6 und 14) zusammengefasst. Hinter dem Sammelblock liegen die Messinstrumente. Erst danach werden die beiden Stränge (d.h. alle 16 Sonden) zusammengeführt und zu den Wärmepumpen in den Heizraum im obersten Stockwerk des Gebäudes geleitet.

Der Durchfluss in den Sonden 1 – 8 (nicht isoliert) liegt im Mittel bei 142 l/min. Der Durchfluss der Sonden 9 – 16 (isoliert) liegt im Mittel bei 150 l/min. Gesamthaft ergibt dies ein mittlerer Durchfluss von 292 l/min. Wie in Kapitel 8.3 aufgezeigt wurde variiert der Durchfluss in den einzelnen Sonden infolge von Druckunterschieden, Druckverlusten teilweise stark.

	Sonden 1 – 8 (ni)	Sonden 9 – 16 (i)	Total
Durchfluss Mittelwert (l/min)	141.7	150.3	292.1
Verteilung (%)	48.5 %	51.5 %	

Tabelle 10: Durchfluss der Sole im Primärkreislauf. ni: nicht isoliert, i: isoliert, rot: grösster, blau: kleinster Durchfluss

9. EFFEKTIVER WÄRMEENTZUG, -RÜCKGABE AUS DEN BZW. IN DIE SONDEN

Wärmeentzug, Wärmeentzugsleistung, Heizwärme

Mittels eines Responsetestes der ETH Lausanne (EPFL) wurde vor der Inbetriebnahme der Erdwärmesonden eine mittlere thermische Leitfähigkeit des Untergrundes von 2.4 W/mK ermittelt (Beilage 15). Die mittlere Wärmeentzugsleistung des Untergrundes belief sich während des Tests auf 27.7 W/m. Während des Heizbetriebs konnte dem Untergrund in der ersten Heizperiode (03/04) 344'172 kWh, in der zweiten Heizperiode (04/05) 346'912 kWh entzogen werden. Den Sonden wurde dabei im Mittel eine Wärmeleistung von 33.9 W/m entzogen, also mehr, als mit dem Responsetest prognostiziert. Im Vergleich hierzu ist in der sechsten Spalte der Tabelle 11 die erzeugte Wärme auf der Sekundärseite aufgeführt (Beilagen 16, 20 und 22).

Saison	Periode	Wärmeentzug		Total	Heiz- wärme	WP-Be- triebs- Stunden	Entzugsleistung		
		(ni)	(i)				(i)	(ni)	mittel
		kWh	kWh	kWh	kWh	h	W/m	W/m	W/m
HP 03/04	Sep-Jun	164'051	180'121	344'172	418'953	8'184	35.6	32.4	34.0
HP 04/05	Aug-Mai	163'488	183'424	346'912	413'113	8'380	35.6	31.9	33.7
Total		327'839	363'545	691'084	832'066	16'564	35.6	32.1	33.9

Tabelle 11: Wärmeleistung aus dem Untergrund, Wärmeentzug aus den Erdwärmesonden während des Heizbetriebs und damit erzeugte Heizwärme, HP: Heizperiode, i: isoliert, ni: nicht isoliert

Wärmerückgabe (Freecooling), Rückgabeleistung

Während des Sommers konnten dem Untergrund in der ersten Freecoolingperiode (03) 91'104 kWh, in der zweiten Freecoolingperiode (04) 61'085 kWh Wärme zurückgegeben werden. Dabei resultiert im Mittel eine Rückgabeleistung von 37.9 W/m. Im äusserst warmen Sommer 2003 wurde wesentlich mehr Wärme als im darauffolgenden Jahr in das Erdreich abgegeben (Beilage 16, 19 und 21).

Saison	Periode	Wärmerückgabe		Total	UP-Betriebs-Stunden	Wärmerückgabeleistung		
		(ni)	(i)			(i)	(ni)	mittel
		KWh	kWh	kWh	h	W/m	W/m	W/m
FC 2003	Jun-Sep	-44'376	-46'728	-91'104	1'954	40.1	37.1	38.0
FC 2004	Mai-Sep	-30'858	-30'607	-61'465	1'420	38.3	37.3	37.7
Total		-75'234	-77'335	-152'569	3'373	39.2	37.2	37.9

Tabelle 12: Wärmerückgabe in den Untergrund, Wärmerückgabe in die Erdwärmesonden während des Kühlbetriebes, FC: Freecooling, i: isoliert, ni: nicht isoliert, UP: Umwälzpumpe

10. SAISONALE WÄRMESPEICHERUNG

Da im Boden keine Wärmezähler installiert sind, werden die Verhältnisse der Wärmekapazitäten bzw. -speicherung im Untergrund über die ermittelten Temperaturverhältnisse besprochen.

10.1 Temperaturverhältnisse

Der direkte Vergleich der Temperaturen in der Zwischensaison (= neutrale Phase, Mai 2003) mit denjenigen nach dem Kühlbetrieb (Freecooling), in welchem unter Umgehung der Wärmepumpen Betriebsabwärme in den Untergrund geführt wurde zeigt, dass die Temperaturen in den Sonden nach dem Kühlbetrieb wesentlich höher liegen als nach der neutralen Phase. Es lässt sich somit erkennen, dass die saisonale Wärmespeicherung Wirkung zeigt und bis zur Endtiefe der Sonden auf 150 m zu einer Erhöhung der Bodentemperaturen führt. Infolge des natürlichen geothermischen Tiefengradienten reduzieren sich die Temperaturerhöhungen mit der Tiefenzunahme jedoch (siehe auch Beilage 33 und 34). Ein Vergleich der isolierten mit den unisolierten Sonden ergibt, dass die Temperaturdifferenzen der Zwischenphasen vor und nach dem Kühlbetrieb nur unwesentlich differieren. Dies bedeutet, dass in beiden Systemen praktisch gleichviel Wärme ans Erdreich zurückgeführt werden konnte (siehe auch Beilage 19 und 21).

Aus der untenstehenden Tabelle wird deutlich ersichtlich, dass sowohl die Temperaturen des Kühlbetriebs wie auch der Heizperiode des Jahres 2003 wesentlich höher liegen als jene des Jahres 2004. Betrachtet man zudem die Temperaturen der Zwischensaison (Mai) nach der Heizperiode so lässt sich deutlich erkennen, dass diese im Mai 05 rund 1.3°C unter jenen im Mai 04 liegen und dies bei praktisch denselben Temperaturdifferenzen vom Mai zum September. Unter Betrachtung praktisch desselben Wärmebezugs in beiden Jahren (Tabelle 11) lässt sich somit darauf schliessen, dass der im Sommer aufgefüllte Wärmepool im Untergrund sich gegenüber dem ersten Jahr leicht entleert hat (vgl. auch Beilage 16 und 17).

	TG	NP	FC	ZS	HP	ZS	FC	ZS	HP	ZS
		Mai 03	Aug 03	Sep 03	Jan 04	Mai 04	Aug 04	Sep 04	Feb 05	Mai 05
15 m (nicht isoliert)	10.1	10.5	19.5	16.4	1.8	6.0	16.1	15.7	-0.2	4.9
100 m (nicht isoliert)	12.7	12.1	19.4	16.6	2.5	6.4	15.8	15.4	0.2	5.1
150 m (nicht isoliert)	14.2	15.7	19.6	17.0	3.6	8.3	16.4	16.0	1.7	7.0
15 m (isoliert)	10.1	11.3	19.3	16.2	1.8	6.2	15.8	15.4	-0.2	5.1
100 m (isoliert)	12.7	12.4	18.7	16.0	3.8	7.5	15.3	14.9	1.7	6.2
150 m (isoliert)	14.2	15.4	19.2	16.7	4.1	8.5	16.0	15.6	2.2	7.2

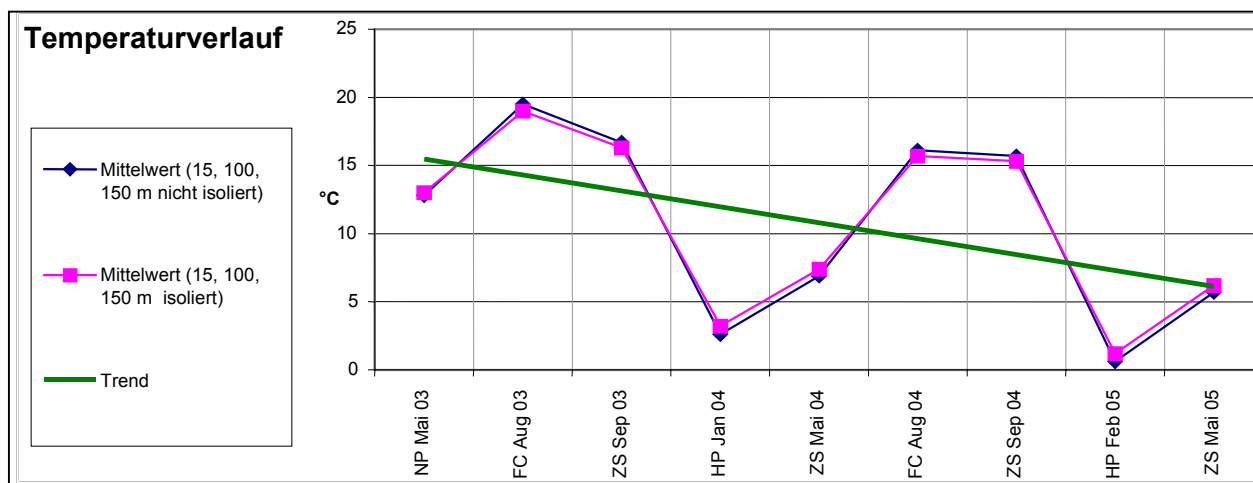


Tabelle 13: Temperaturen in den Sonden nach HP und FC. HP: Heizperiode, FC: Freecooling, TG: Theoretischer Temperaturgradient, NP: Neutrale Phase, ZS: Zwischensaison, in der sowohl geheizt als auch gekühlt wird.

10.2 Wärmespeicherung

Bei konstantem Durchfluss in den Sonden lassen sich die saisonalen Wärmerückgaben den Differenzen zwischen den Temperaturen des Wärmegradienten (neutrale Phase, Mai 2003) und den effektiv gemessenen Temperaturen gleichsetzen (Beilagen 33 und 34). Aufgeteilt auf die 3 Messtiefen lässt sich erkennen, dass die grössten Wärmerückgaben in 15 m und die kleinsten in 150 m erfolgten. In 150 m Tiefe mussten während der Wärmerückgabe im Juni, Juli 2004 auch kleinere Verluste in Kauf genommen werden indem in dieser Zeit das Erdreich wärmer war als die Sondentemperatur und somit vom Erdreich in die Sonde Wärme abgegeben wurde obwohl in dieser Zeit (Free-cooling-Betrieb) eigentlich Wärme ans Erdreich abgegeben werden sollte

11. ENERGIEBILANZ, JAHRESARBEITSZAHL

Freecooling

In der Freecooling-Periode Sommer 2003 (Juni – September) wurden gesamthaft 91'104 kWh und im Sommer 2004 (Mai – September) 61'465 kWh Wärme aus den Büroräumlichkeiten in das Erdreich zurückgebracht (Beilagen 16, 19, 21 und 31).

Saison	Periode	Wärmerückgabe Sonden 1-16	Stromverbrauch Sole-Umwälzpumpen	Arbeitszahl
		kWh	kWh	
FC 03	Jun. – Sep.	91'104	2'097	46.0
FC 04	Mai – Sep.	61'465	1'523	40.4
Total		152'569	3'620	43.2

Tabelle 14: Energiebilanz des Kühlbetriebs im Sommer 2003 und 2004.

Heizperiode

In der Heizperiode 2003/2004 wurden dem Erdreich gesamthaft 344'172 kWh und in der Heizperiode 2004/2005 346'912 kWh entzogen (Beilagen 16, 20, 22 und 31).

Saison	Periode	Wärme- entzug	Strom Verdichter	Strom Verdichter + UP	Nutz- Wärme	Verlust	JAZ (WP)	JAZ (WPA)
		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh		
HP 03/04	Jul.-Jun.	344'172	92'649	96'901	418'953	17'868	4.5	4.3
HP 04/05	Aug.-Mai	346'912	93'211	97'584	413'113	27'010	4.4	4.2
Total		691'084	185'860	194'485	832'066	44'878	4.5	4.3

Tabelle 15: Energiebilanz aus dem Heizbetrieb, HP Sep. 03 – Mai 04 und Sep. 04 – Mai 05. HP: Heizperiode, UWP: Umwälzpumpe, JAZ: Jahresarbeitszahl, WP: Wärmepumpe, WPA: Wärmepumpenanlage (inkl. UP)

12. SOLL - IST VERGLEICH

Ursprünglich war geplant 64.8 % der Heizwärme des Bahnhof-Süd-Gebäudes in Aarau mittels der Erdwärmesondenanlage abzudecken. Für die Spitzenabdeckung (bei Aussentemperaturen unter -8°C) inklusive Warmwasser wurde ein Gaskessel installiert. Bei Messbeginn (Sommer 2003) war das Bürogebäude lediglich zu ca. 50% belegt. Bis zum Ende der Messperiode (Sommer 2005) waren ca. 95% des Gebäudes belegt. Dies hat auf die Beheizung des Gebäudes insofern keine Auswirkung als alle Räumlichkeiten, auch diejenigen ohne Mieter, beheizt wurden.

	Sollwert	Istwert	Istwert
		April 2003 - März 2004*	April 2004 - März 2005*
Heizbedarf [kWh]	590'875	507'710	539'030
Heizenergie durch Wärmepumpen [kWh] abgedeckt	382'847	418'953	413'113
Heizenergie durch Gasheizung [kWh] abgedeckt	208'029	102'879	121'653
JAZ, JAZ (WP)	-, 4.64	4.3, 4.5	4.2, 4.4
Anteil der total benötigten Heizwärme, welche durch die Erdwärmesonden abgedeckt wurde	64.8 %	79.7 %	77.4 %
Kühlbedarf [kWh]	105'537	91'104	61'465

	Sollwert	Sommer 2003	Sommer 2004
Kühlbedarf [kWh]	105'537	91'104	61'465

Tabelle 16: Aufstellung der Soll- und Istwerte der Heiz- und Kühlanlage. *Die dargestellten Messperioden sind durch die Gasablesungen des Energielieferanten bedingt. JAZ: Jahresarbeitszahl (= Heizwärme / (Strom WP + Strom UP)), WP: Wärmepumpe, UP: Umwälzpumpe

In den gemessenen Heizperioden 2003/2004 und 2004/2005 konnte mittels der Wärmepumpen mehr Wärme als projiziert produziert werden. In der Freecoolingperiode wurde weder im Sommer 2003 noch im Sommer 2004 die projizierte Kühlleistung erreicht. Hier sind mittels Optimierungen beim Wärmetauscher noch bessere Kühlleistungen erreichbar.

Ein Vergleich der prognostizierten spezifischen Entzugsleistung von 35.6 W/m mit den effektiven Werten zeigt, dass in den isolierten Sonden diese Entzugsleistung erreicht wird (Tabellle 12). In den nicht isolierten Sonden hingegen liegt die spezifische Entzugsleistung mit rund 32 W/m unter diesem Wert. Insgesamt resultiert somit eine spezifische Entzugsleistung von 34 W/m was leicht unter dem angestrebten Wert liegt.

13. EFFIZIENZ / WIRTSCHAFTLICHKEITSANALYSE

Effizienz

Wärmeentzug

Zur Förderung des benötigten jährlichen Wärmebedarfs von durchschnittlich 345'500 kWh, welche eine Heizleistung von 416'000 kWh erzeugt resultiert ein Stromverbrauch rund 97'250 kWh bzw. 93'000 kWh wenn man nur den Stromverbrauch für die Wärmeerzeugung ohne die Umwälzpumpen rechnet. Dies entspricht einer JAZ von 4.3 bzw. von 4.5 (WP). Geplant war die Anlage auf eine JAZ (WP) von 4.64 auszurichten. Das Ziel wird somit nur knapp verfehlt. Durch die Optimierung bei den Wärmetauschern im Freecooling-System kann eine zusätzliche Verbesserung des Kühlsystems und dadurch eine zusätzliche Aufladung des Erdwärmespeichers erfolgen. Hiermit wird auch eine Erhöhung der JAZ erreicht.

Freecooling

Der Freecooling Betrieb läuft wie schon erwähnt zur Zeit noch nicht optimal. Durch eine verbesserte Wärmeübertragung an den Wärmetauschern muss dies zukünftig unbedingt verbessert werden.

Wirtschaftlichkeit

Mit der installierten Anlage können die Heizkosten der Büroräumlichkeiten mit 3.96 CHF pro m² und Jahr verrechnet werden. Dies entspricht gemäss Angabe der Verwaltung einer preiswerten Heizung. Für die 7'210 m² EFF ergeben sich somit jährliche Betriebskosten von 28'550.-- Fr..

Isolation

Von den 16 Erdwärmesonden wurden deren 8 bis in eine Tiefe von 8 m ab Unterkante Bodenplatte mit Tubolit isoliert. Es ist darauf hinzuweisen, dass im Gegensatz zu Otelfingen (DIS-Projekt Nr. 30'603) die Tubolit isolation diesmal schon im Werk auf die Sonden aufgebracht wurde. Aufgrund der Einzelanfertigungen erwies sich das Aufbringen der Isolation auch im Werk noch recht zeitaufwendig und somit kostenintensiv. Bei der Anfertigung als Standardprodukt dürften sich die Kosten jedoch reduzieren und somit auch die Amortisationszeiten wesentlich reduzieren.

Aufgrund dieser Isolation kann beim vorliegenden Objekt pro Jahr ca. 18'000 kWh mehr Wärme aus dem Untergrund gefördert werden (Beilage 40 und Kapitel 9). Dies führt zu einem geringeren Stromaufwand für die Wärmeerzeugung und es können somit ca. 548.-- Fr. pro Jahr eingespart werden. Die Mehrkosten (18'648.-- Fr.) für die Isolation sind zur Zeit mit einer Verzinsung von 5% nach 20.4 Jahren (bei 8% nach 17.1 Jahren) amortisiert. Diese Amortisationszeiten liegen zur Zeit somit in einem ähnlichen Bereich wie jene beim Forschungsprojekt in Otelfingen. Die Amortisationszeit betrug dort 18 Jahren, bei einer Sondenisolation bis in 20 m Tiefe. Wie schon ausgeführt dürften sich diese Kosten bei Serienherstellung noch wesentlich reduzieren.

14. CO₂ EINSPARUNG DURCH EINE ERDWÄRMESONDENANLAGE

Das Bahnhof-Süd-Gebäude wurde in die Auswahl für den Umweltpreis der Stadt Aarau des Jahres 2005 aufgenommen. Dafür wurden die CO₂-Einsparungen der Erdwärmesonden-Heizanlage bezüglich einer Gas- oder Ölheizanlage sowie die Stromeinsparungen des Freecooling-Betriebs mit einer konventionellen Kühlanlage verglichen (Beilagen 38 und 39).

Dabei zeigt sich, dass im Vergleich mit einer Ölheizung mit der installierten Erdwärmesondenanlage während der beiden Messjahre (Juni 2003 – Mai 2005) insgesamt 228 t CO₂ eingespart wurde. Im Vergleich mit einer Gasheizung ergibt sich eine Einsparung von 174 t CO₂. Während des Freecoolingbetriebs konnte im Vergleich zu einer konventionellen Kühlanlage mit den Erdwärmesonden, 40 MWh Strom eingespart werden.

15. BETRIEBSERFAHRUNG

Das im Herbst 2002 in Betrieb genommene Heizsystem läuft gut. Bei kleinem Wärmebedarf läuft nur eine der beiden installierten Wärmepumpen, und die Sole wird nur mit der kleinen Umwälzpumpe bewegt. Bei höherem Heizbedarf wird auf den Betrieb der grossen Umwälzpumpe gewechselt. Im Kühlbetrieb wird, unter Umgehung der Wärmepumpe, die Sole mit der grossen Umwälzpumpe bewegt und so die Betriebsabwärme in den Untergrund befördert. Die Hausverwaltung ist mit der effizienten und im Betrieb kostengünstigen Heizanlage sehr zufrieden. Hinsichtlich des Freecoolings wünscht sich die Verwaltung jedoch eine noch bessere Kühlung der Räumlichkeiten in den warmen Sommermonaten.

16. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die in diesem Forschungsprojekt ermittelten Daten lassen Folgendes erkennen:

- 1.) Ein Effizienzvergleich der isolierten mit den nicht isolierten Sonden ergibt, dass sowohl beim Wärmeentzug wie auch bei der Wärmerückführung die isolierten Sonden vorne liegen.
- 2.) Mit der Zunahme der Durchflussgeschwindigkeit in den Sonden nimmt der Wärmeentzug aus dem Erdreich zu und die Wärmerückführung ans Erdreich ab.
- 3.) Durch die Isolation bis in 8 m Tiefe kann der Wärmeaustausch zwischen Bodenplatte und Sonde minimiert werden.
- 4.) Die Wärmerückgabe ans Erdreich nimmt infolge des geothermischen Gradienten mit der Tiefe ab.
- 5.) Ein Vergleich mit konventionellen Heizsystemen wie Öl und Gas lässt erkennen, dass während der Überwachungsperiode von 2 Jahren mit der Anlage 228 t (Öl) bzw. 174 t (Gas) CO₂ bzw. mit dem Freecooling-System 40 MWh Strom gegenüber einer konventionellen Kühlanlage eingespart wurde.
- 6.) Eine Beeinflussung der Sonden untereinander kann nicht festgestellt werden.
- 7.) Mit einer JAZ von 4.5 (WP) läuft die Wärmepumpenanlage sehr effizient. Sie erreicht infolge des noch nicht optimalen Freecoolings-Systems die angestrebte JAZ von 4.64 (WP) jedoch noch nicht. Eine Optimierung bei der Wärmerückgabe an den Wärmetauschern muss durchgeführt werden.
- 8.) Der Mehraufwand durch die Isolation der Sonden in den oberen 8 m ist, bedingt durch den höheren Wärmeentzug, nach 20.4 Jahren (5% Verzinsung) amortisiert.

17. GRUNDLAGEN / LITERATUR

- Gesuch an das BFE Zweijährige Erfolgskontrolle (Messkampagne) der WP-Anlage „Feuerwehrmagazin und Wohnungen Sisseln“ mit Verfügung des BFE vom 8. November 2001.
- Geologisches Büro Dr. U. Schärli, Thermische Messungen an Bohrproben, 29. April 2002.
- EPFL (ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE) „Überbauung „Bahnhof Süd“, Aarau – 2ème test réponse thermique du terrain“ 27. Januar 2003.
- BFE (Bundesamt für Energie): „Wärmepumpen-Anlage Chestonag Automation AG, Seengen (AG)“, DIS-Projekt Nr.: 35'889, ausgearbeitet durch Dr. M. Eberhard, EBERHARD & Partner AG, Aarau, 2004.
- BFE (Bundesamt für Energie): „Wirtschaftlichkeitsermittlung einer Sondenisolation im obersten Abschnitt einer Erdwärmesondenanlage, Otelfingen ZH“, DIS-Projekt Nr.: 30'603, ausgearbeitet durch Dr. M. Eberhard, EBERHARD & Partner AG, Aarau, 2003.

18. ANHANG

Beilagen

Projektleitung: Dr. M. Eberhard

Aarau, 13. Oktober 2005

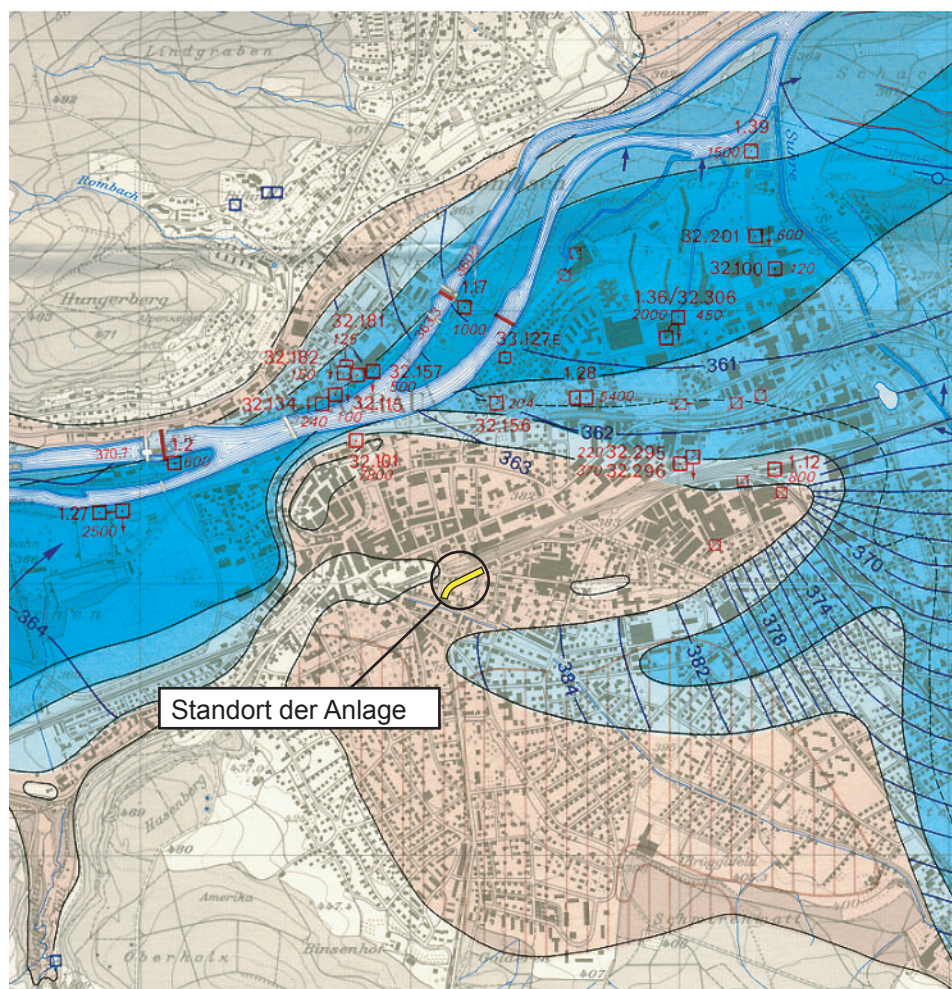


EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

19. BEILAGEN

- 1 Ausschnitt aus der Grundwasserkarte des Kantons Aargau, Blatt Aarau, mit eingezeichnetem Standort der Anlage
- 2 Bürogebäude „Bahnhof Süd“, Hintere Bahnhofstrasse, Aarau
- 3 Übersicht über die Sondenanlage und die Tiefen der Temperatursonden
- 4 Fotodokumentation Bürogebäude „Bahnhof Süd“ in Aarau
- 5 Fotodokumentation Bohrarbeiten und Verlegen der Erdwärmesonden
- 6 Fotodokumentation WP-Anlage und Messinstallation
- 7 Bohrprofil von Sonde 1
- 8 Bohrprofil von Sonde 8
- 9 Bohrprofil von Sonde 15
- 10 Querschnitt der Bohrung mit Isolation
- 11 Messschema
- 12 Prinzipschema der Wärmepumpenanlage mit zusätzlichen Installationen
- 13 Detail aus dem Heizschema der Erdwärmesonde (Primärkreislauf)
- 14 Sammelblock der 16 Erdwärmesonden im Untergeschoss des Gebäudes
- 15 Wärmeleitfähigkeit der Gesteinsschichten und der Sonde (Responsetest)
- 16 Zusammengefasste Energie- und Leistungsdaten
- 17 Zusammengefasste Temperaturdaten
- 18 Temperaturen in 15 m Tiefe und beim Sammelblock
- 19 Messperiode Freecooling Sommer 2003
- 20 Messperiode Heizperiode Winter 2003-2004
- 21 Messperiode Freecooling Sommer 2004
- 22 Messperiode Heizperiode Winter 2004-2005
- 23 Aussentemperatur
- 24 Temperaturen der Sonden 1 – 8 (nicht isoliert)
- 25 Temperaturen der Sonden 9 – 16 (isoliert)
- 26 Durchschnittstemperaturen in den nicht isolierten Erdwärmesonde (15, 100 und 150 m)
- 27 Durchschnittstemperaturen in den isolierten Erdwärmesonde (15, 100 und 150 m)
- 28 Temperaturvergleich der isolierten und nicht isolierten Sonden in gleicher Tiefe
- 29 Temperaturdifferenz zwischen 15 m Tiefe und dem Vorlauf beim Sammelblock (Monatsmittel)
- 30 Vor- und Rücklauftemperaturen im Primär- und Sekundärkreislauf
- 31 Wärmefluss während Heiz- und Freecoolingbetrieb, Stromverbrauch
- 32 Wärmeerzeugung der Wärmepumpen, Betriebsstunden
- 33 Wärmeentnahme und –rückgabe in der Periode 2003 / 2004
- 34 Wärmeentnahme und –rückgabe in der Periode 2004 / 2005
- 35 Effektiver Wärmeentzug aus dem Erdreich
- 36 Temperaturgradient und Wärmeentnahme
- 37 Leistungsdiagramm der Wärmepumpe
- 38 CO₂ -Einsparung durch die Erdwärmesonde, Heizperiode
- 39 Strom- und CO₂-Einsparung durch die Erdwärmesonde, Freecooling
- 40 Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpenanlage mit isolierten und nicht isolierten Sonden

Ausschnitt aus der Grundwasserkarte des Kantons Aargau, Blatt Aarau, Stand 1994



Objekt mit Erdwärmesondenfeld
Hinterer Bahnhofstrasse, Aarau



Gebiet sehr grosser Grund-
wassermächtigkeit
(> 20 m)



Gebiet grosser Grund-
wassermächtigkeit
(10-20 m)



Gebiet mittlerer Grund-
wassermächtigkeit
(2-10 m)



Gebiet geringer Grund-
wassermächtigkeit
(< 2 m)



Grundwasser-
isohypse (m ü. M.) bei
Mittelwasserstand



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



Grundwasserfassung mit
Nummer und Entnahme-
menge in l/min



Quellfassung
(min./max in l/min)

A 380

Aarau, 3.8.05

Erdwärmesondenanlage,
Bahnhof Süd, Aarau

Massstab
1 : 25'000

EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

A 380
Aarau, 3.8.05

Erdwärmesondenanlage "Bahnhof Süd", Aarau

EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt



Bürogebäude "Bahnhof-Süd", Aarau

Heiz- und Kühlbetrieb mittels 16 Erdwärmesonden à 150 m Tiefe



Nordfassade

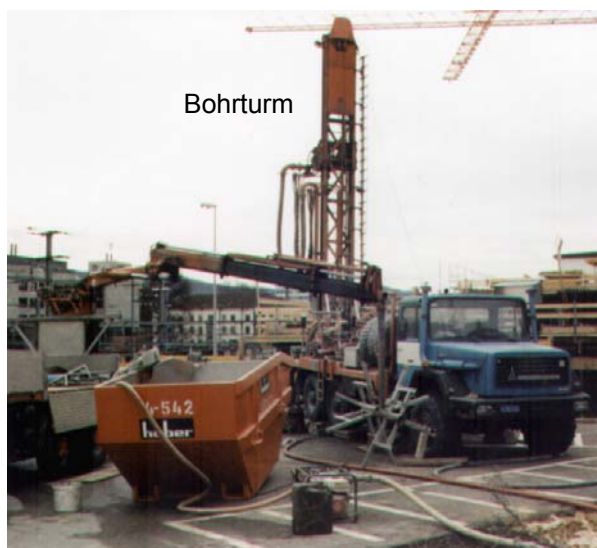


Nord- Nordwestfassade



Südfassade

Fotodokumentation, Bohrarbeiten und Verlegen der Erdwärmesonden



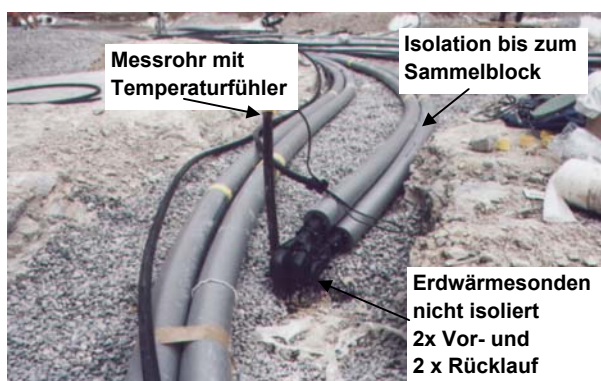
Bohrturm

Bohrarbeiten und Einbau der Erdwärmesonden



Einbau einer Sonde

Sonden 1 - 8 sind konventionell eingebaut (unten). Die Sonden 9 - 16 sind bis in eine Tiefe von 8 m isoliert (rechts). Ab dem Gebäudefundament sind alle Sonden bis zur WP isoliert geführt (unten).



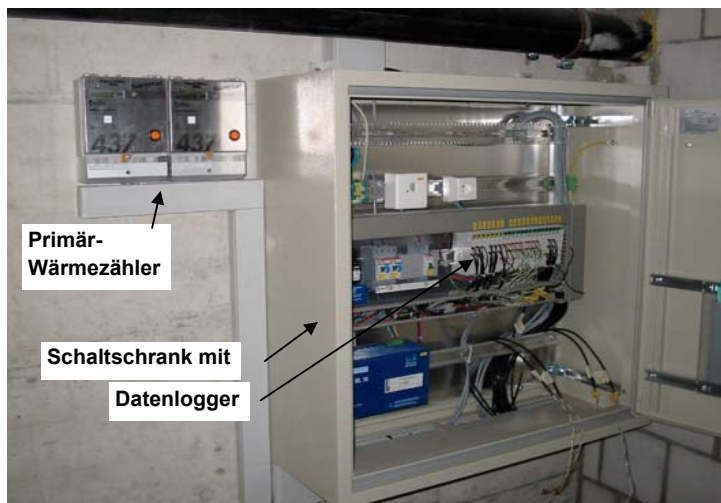
Verlegte Sonden auf der Bausohle, Sammelblock



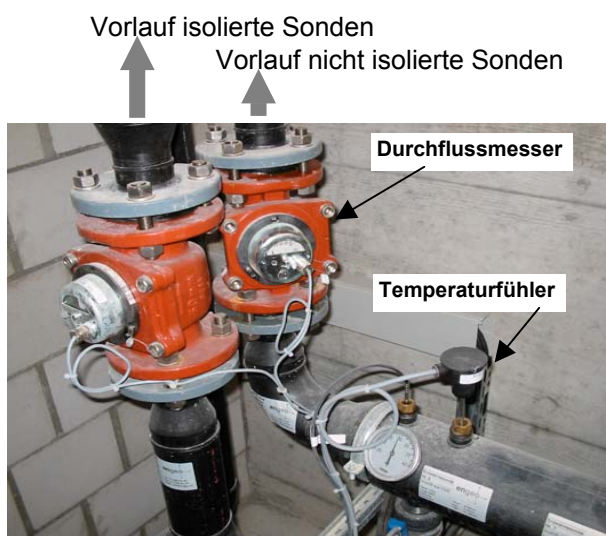
Vom Sondenkopf bis zum Sammelblock sind alle Erdwärmesonden isoliert

Fotodokumentation, WP-Anlage und Messinstallation

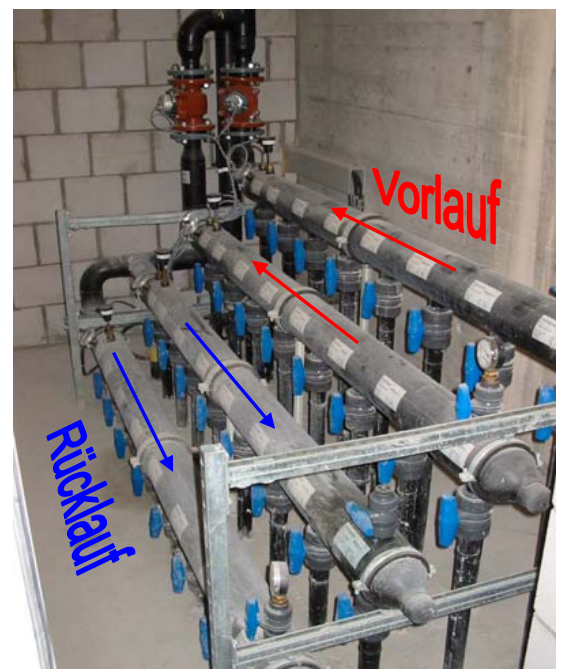
Die Wärmepumpen, Modell Satag Natura (BW 254.1), im Heizraum im 5.OG.

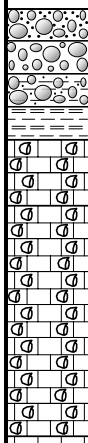
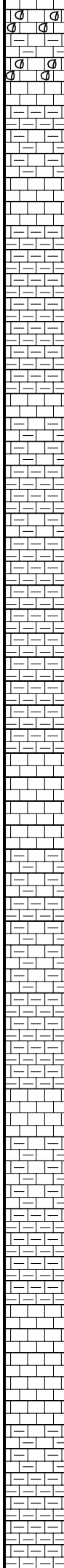


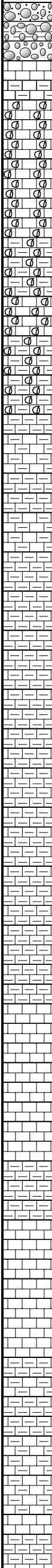
Wärmezähler und Messdatenerfassungskasten im Keller neben dem Erdwärmesondensammelblock

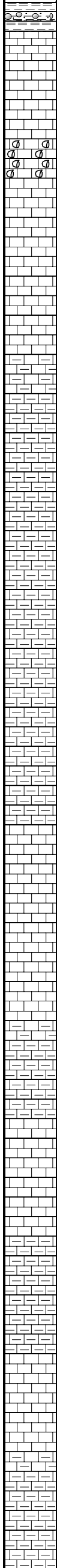
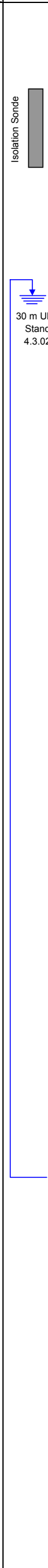


Sammelblock der Erdwärmesonden, Durchflussmesser der isolierten und unisolierten Stränge. Schema siehe Beilage 13

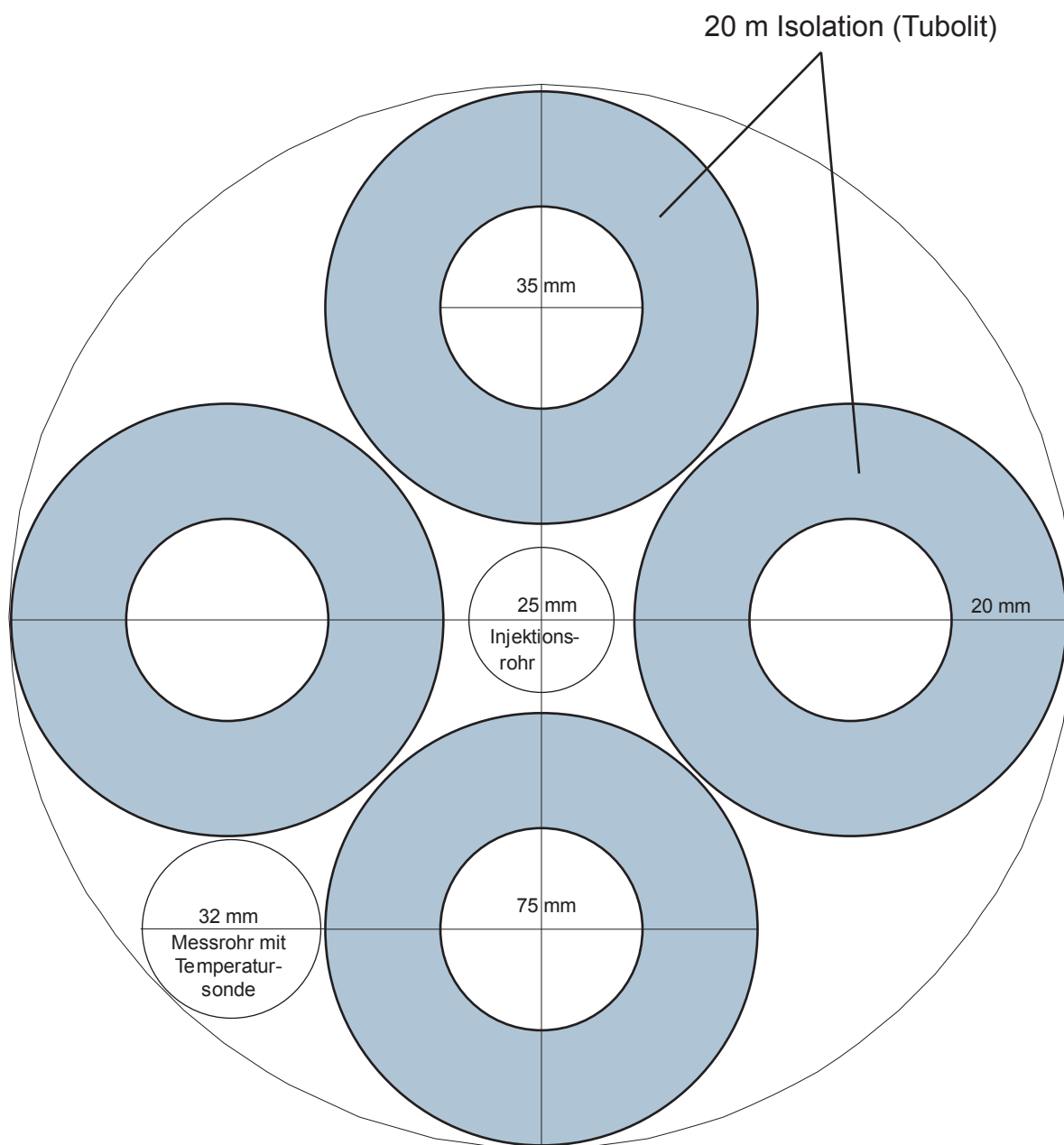


PROJEKT: Bürogebäude "Bahnhof Süd", Aarau					Spülbohrung	
AUFTRAGGEBER: Credit Suisse, Asset Management Funds, Zürich			STANDORT: Sonde 1			
BAULEITUNG: EBERHARD & Partner AG, Aarau			OK BOHRLOCH: 390.16 m ü.M.			
HEIZUNGSINGENIEUR: Amstein + Walthert, Luzern			KOORDINATEN: 646'070 / 248'940			
GEOL. AUFNAHME: EBERHARD & Partner AG, G. Hauri			RICHTUNG: -			
BAUUNTERNEHMUNG: Pump & Bohr AG, Rickenbach			NEIGUNG: vertikal			
BOHRBEGINN: 12.02.2002			GESAMTLÄNGE: 160 m			
BOHRENDE: 13.02.2002						
Lithologie	Ver-rohrung	Wasser-spiegel	m	Geotechnische Beschreibung des Bohrgutes	Geologische Interpretation	Δλ _m [W/m,K]
	 OK Bodenplatte 11.36 m UKT 378.8 m ü.M.		2	Sandiger Kies, hellbraun-hellgrau, Kieskomp. bis 2 cm Ø	Schotter	2.98
			4	Sauberer Kies, bunt, Kieskomp. bis 1 cm Ø		
			6	Sandiger leicht toniger Kies, hellbraun bis beige, Kieskomp. bis 1 cm Ø		
			8	Toniger Silt, hellbraun bis beige	Eozäne Ablagerungen	3.26
			10	Kalk, hellgrau-hellbraun, Fossiltrümmer, Glaukonitkörner, hart	Crenularis-Schichten	
			12			
			14	Kalk, hellbraun, Fossiltrümmer, hart	Geissberg-Schichten	
			16			
			18			
			20			
			22			
			24			
			26			
			28	Kalk, hellbraun-hellgrau, hart	Effinger-Schichten	2.92
			30			
			32	Kalk, hellbraun-hellgrau, Fossiltrümmer, hart		
			34	Mergeliger Kalk, dunkelgrau, mittelhart		
			36	Kalk, hellbraun, Fossiltrümmer, hart		
			38	Kalk, dunkelgrau, hart	2.37	
			40	Mergel, dunkelgrau, weich		
			42	Mergeliger Kalk, dunkelgrau, hart		
			44			
			46	Kalk, dunkelgrau, hart	2.18	
			48	Kalk, dunkelgrau, mittelhart		
			50	Mergel, dunkelgrau, mittelhart-weich		
			52			
			54			
			56			
			58			
			60			
			62	Mergel, dunkelgrau, weich	2.36	
			64	Kalk, dunkelgrau, hart		
			66	Mergeliger Kalk, dunkelgrau, mittelhart		
			68	Mergeliger Kalk, dunkelgrau, mittelhart-hart		
			70	Mergel, dunkelgrau, weich		
			72			
			74	Mergeliger Kalk, dunkelgrau, mittelhart-hart		
			76	Mergel, dunkelgrau, weich		
			78			
			80	Mergel, dunkelgrau, weich, vereinzelt weisse Calcitstücke	2.24	
			82	Mergel, dunkelgrau, weich		
			84			
			86			
			88			
			90	Mergel, dunkelgrau, weich-mittelhart		
			92	Mergel, dunkelgrau, weich		
			94	Kalk, dunkelgrau, hart, vereinzelt gelbliche Mergel- und Calcitstücke		
			96	Kalk, dunkelgrau, hart		
			98	Kalk, dunkelgrau, hart, vereinzelt gelbliche und weisse Mergel- und Calcitstücke (Kluftfüllung)	1.72	
			100			
			102	Mergeliger Kalk, dunkelgrau, hart-mittelhart, vereinzelt gelbliche und weisse Mergel- und Calcitstücke (Kluftfüllung)		
			104			
			106	Mergel, dunkelgrau, weich		
			108	Mergeliger Kalk, dunkelgrau, hart-mittelhart, vereinzelt gelbliche und weisse Mergel- und Calcitstücke (Kluftfüllung)		
			110			
			112			
			114	Mergel, dunkelgrau, weich, vereinzelt gelbliche und weisse Mergel- und Calcitstücke (Kluftfüllung)		
			116			
			118			
			120			
			122	Kalk, dunkelgrau-schwarz, hart-mittelhart, vereinzelt gelbliche und weisse Mergel- und Calcitstücke (Kluftfüllung)	2.24	
			124			
			126	Mergeliger Kalk, dunkelgrau-schwarz, hart-mittelhart, vereinzelt gelbliche und weisse Mergel- und Calcitstücke (Kluftfüllung)		
			128			
			130			
			132	Mergel, dunkelgrau, weich, vereinzelt gelbliche und weisse Mergel- und Calcitstücke (Kluftfüllung)		
			134			
			136			
			138			
			140	Kalk, dunkelgrau-schwarz, hart, vereinzelt gelbliche und weisse Mergel- und Calcitstücke (Kluftfüllung)	1.72	
			142			
			144			
			146			
			148			
			150	Mergeliger Kalk, dunkelgrau-schwarz, hart-mittelhart, vereinzelt gelbliche und weisse Mergel- und Calcitstücke (Kluftfüllung)		
			152			
			154	Mergel, dunkelgrau-schwarz, weich, vereinzelt gelbliche und weisse Mergel- und Calcitstücke (Kluftfüllung)		
			156			
			158			
			160			

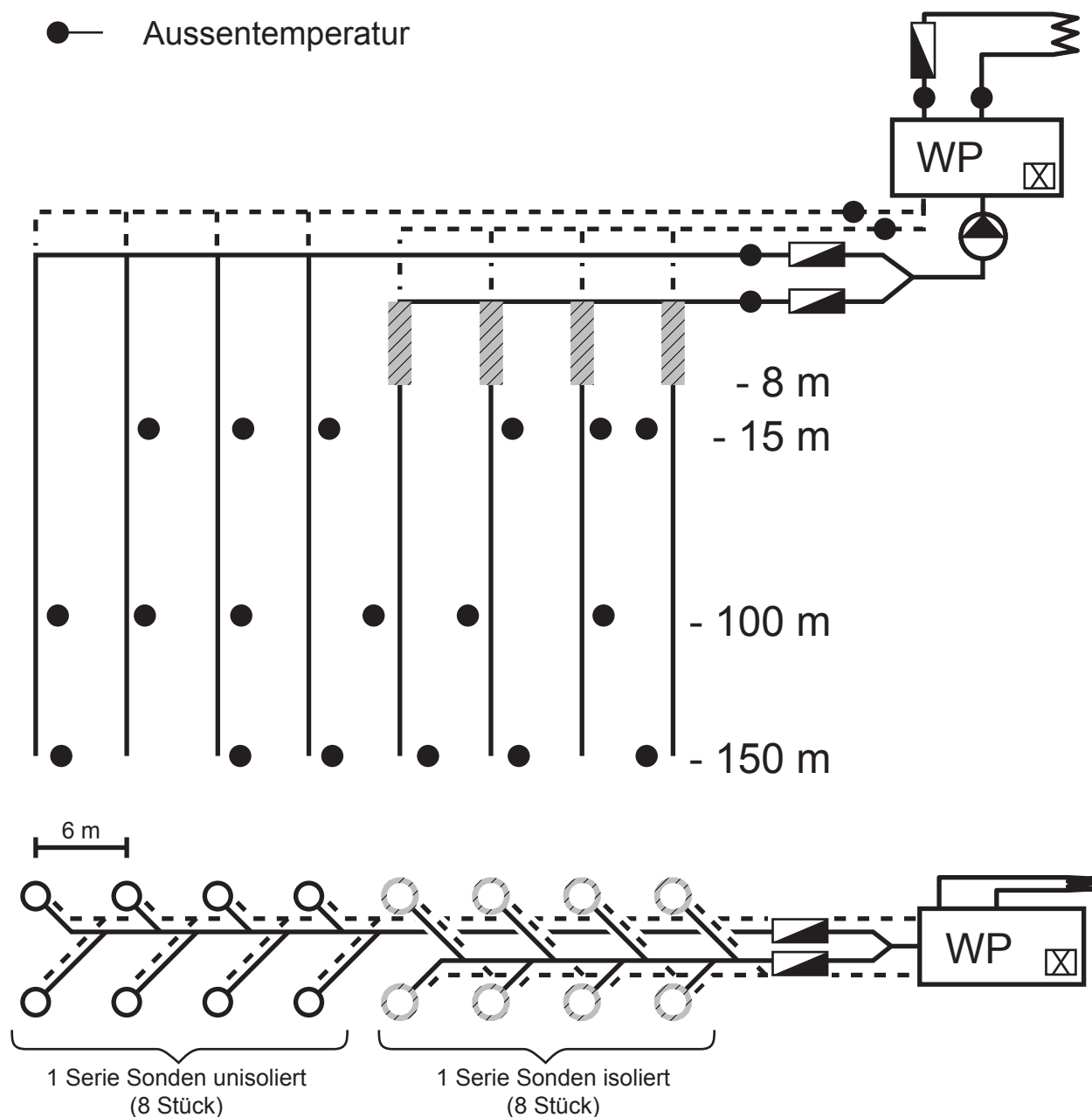
PROJEKT: Bürogebäude "Bahnhof Süd", Aarau					Spülbohrung	
AUFTRAGGEBER:		Credit Suisse, Asset Management Funds, Zürich		STANDORT: Sonde 8		
BAULEITUNG:		EBERHARD & Partner AG, Aarau		OK BOHRLOCH: 388.44 m ü.M.		
UNTERNEHMER:		Amstein + Walthert, Luzern		KOORDINATEN: 646'070 / 248'940		
GEOL. AUFNAHME:		EBERHARD & Partner AG, G. Hauri		RICHTUNG: -		
BAUUNTERNEHMUNG:		Pump & Bohr AG, Rickenbach		NEIGUNG: vertikal		
BOHRBEGINN:		19.02.2002		GESAMTLÄNGE: 160 m		
BOHRENDE:		20.02.2002				
Lithologie	Ver- rohrung	Wasser- spiegel	m	Geotechnische Beschreibung des Bohrgutes	Geologische Interpretation	$\Delta\lambda_m$ [W/m,K]
	 Ø 133 mm OK Bodenplatte 9.64 m UKT 378.8 m ü.M. Isolation Sonde Wasserzutritt bei 30 - 40		2	Leicht sandiger Kies, hellbraun-dunkelgrau	Schotter	2.98
			4	Leicht toniger Kies, dunkelgrau, mit Quarzstücken		
			6	Sauberer Kies, bunt		
			8	Kalk, hellbraun-hellgrau, hart	Wangener-Letzi-Schichten	3.26
			10	Kalk, hellbraun-hellgrau, hart, mit grünlich-grauem Mergel		
			12	Kalk, hellgrau, Glaukonitkörner, Fossiltrümmer, hart	Crenularis-Schichten	2.92
			14			
			16			
			18	Kalk, hellbraun, Fossiltrümmer, hart	Geissberg-Schichten	2.37
			20			
			22			
			24			
			26	Mergeliger Kalk, hellbraun-hellgrau, Fossiltrümmer, mittelhart		
			28			
			30			
			32	Kalk, hellbraun-hellgrau, Fossiltrümmer, hart		
			34			
			36	Leicht mergeliger Kalk, hellbraun, Fossiltrümmer, hart		
			38		Efffinger-Schichten	2.18
			40	Mergeliger Kalk, hellbraun, mit Fossiltrümmer, hart		
			42			
			44	Mergel, hellgrau, weich		
			46	Mergeliger Kalk, hellgrau, hart		
			48			
			50	Mergel, hellgrau, weich		
			52			
			54	Mergeliger Kalk, hell-dunkelgrau, mittelhart		
			56			
			58	Mergel, hellgrau, weich		2.36
			60			
			62			
			64			
			66	Mergel, hellgrau, mittelhart		
			68			
			70			
			72	Mergel, hellgrau, weich		
			74			
			76	Mergel, hellgrau, mittelhart		
			78	Mergel, hellgrau, weich		2.24
			80			
			82			
			84			
			86			
			88			
			90			
			92			
			94			
			96	Mergel, hellgrau, weich-mittelhart		
			98			1.72
			100			
			102	Mergel, hellgrau, weich		
			104	Kalk, dunkelgrau, hart		
			106			
			108			
			110	Kalk, hellgrau, hart		
			112			
			114	Kalk, hellgrau, hart, vereinzelt grünliche Mergelstücke (Kluftfüllung)		
			116	Kalk, hellgrau, hart, vereinzelt bräunliche Kalkstücke (Kluftfüllung)		
			118			2.24
			120	Mergel, hellgrau, weich		
			122			
			124			
			126	Kalk, hellgrau, hart, vereinzelt grünliche Mergel- und bräunliche Kalkstücke (Kluftfüllung)		
			128			
			130			
			132	Kalk, dunkelgrau, hart, vereinzelt grünliche Mergel- und bräunliche Kalkstücke (Kluftfüllung)		
			134			
			136			
			138			2.24
			140	Mergel, hellgrau, weich, vereinzelt bräunliche Kalkstücke		
			142	Mergeliger Kalk, dunkelgrau, mittelhart, vereinzelt bräunliche Kalkstücke		
			144	Mergel, dunkelgrau, weich-mittelhart, vereinzelt grünliche Mergelstücke (Kluftfüllung)		
			146			
			148	Mergeliger Kalk, dunkelgrau, mittelhart, vereinzelt grünliche Mergelstücke (Kluftfüllung)		
			150			
			152			
			154			
			156	Kalk, dunkelgrau, mittelhart		
			158	Mergel, hellgrau, weich, vereinzelt grünliche Mergel- und weissliche und bräunliche Kalkstücke (Kluftfüllung)		
			160			

PROJEKT: Bürogebäude "Bahnhof Süd", Aarau					Spülbohrung	
AUFTRAGGEBER:		Credit Suisse, Asset Management Funds, Zürich		STANDORT: Sonde 15		
BAULEITUNG:		EBERHARD & Partner AG, Aarau		OK BOHRLOCH: 387.63 m ü.M.		
HEIZUNGSINGENIEUR:		Amstein + Walthert, Luzern		KOORDINATEN: 646'070 / 248'940		
GEOL. AUFNAHME:		EBERHARD & Partner AG, G. Hauri		RICHTUNG: -		
BAUUNTERNEHMUNG:		Hastag, St. Gallen		NEIGUNG: vertikal		
BOHRBEGINN:		25.02.2002		GESAMTLÄNGE: 160 m		
BOHRENDE:		26.02.2002				
Lithologie	Ver- rohrung	Wasser- spiegel	m	Geotechnische Beschreibung des Bohrgutes	Geologische Interpretation	Δλ _m [W/m,K]
	 Ø 226 mm OK Bodenplatte 8.83 m UKT 378.8 m ü.M.	 Isolation Sonde 30 m UKT Stand 4.3.02	1	Toniger Silt, dunkelbraun, durchwurzelt, humos	Humus	2.98
			2	Tonig-sandiger Kies, hellbraun-hellgrau, Komp. bis 5 cm Ø	Schotter	
			3	Toniger Silt, hellbraun bis beige	Eozäne Ablagerungen	
			4	Kalk, hellbraun-hellgrau, hart, mit grünlichen Mergelstücken	Wangener-Letzi-Schichten	
			6			3.26
			8	Kalk, hellbraun, hart, mit Pyritstücken		
			10	Kalk, hellbraun, mittelhart, mit Pyritstücken		
			12	Kalk, hellbraun, hart, mit Pyritstücken		
			14	Kalk, hellbraun, hart		
			16	Kalk, hellbraun, Glaukonitkörner, Fossiltrümmer, hart	Crenularis-Schichten	
			18	Kalk, hellbraun, Fossiltrümmer, hart	Geissberg-Schichten	
			20	Kalk, dunkelgrau, hart, vereinzelt hellbraune Mergelstücke	Effinger-Schichten	2.92
			22			
			24			
			26	Kalk, hellgrau-hellbraun, mittelhart		
			28			2.37
			30	Kalk, dunkelgrau, hart, vereinzelt hellbraune Mergelstücke		
			32	Kalk, dunkelgrau, hart-mittelhart		
			34	Kalk, dunkelgrau, hart		2.18
			36			
			38	Mergeliger Kalk, dunkelgrau, mittelhart		
			40			2.36
			42	Mergel, dunkelgrau, mittelhart-weich		
			44			
			46			
			48			2.24
			50	Mergel, dunkelgrau, mittelhart		
			52	Mergel, dunkelgrau, mittelhart-weich		
			54	Mergel, dunkelgrau, weich		
			56	Mergel, dunkelgrau, mittelhart-weich		2.24
			58			
			60			
			62			
			64			2.24
			66			
			68	Mergel, dunkelgrau, weich		
			70			2.24
			72			
			74			
			76	Mergel, dunkelgrau, mittelhart-weich		
			78			2.24
			80			
			82	Mergel, dunkelgrau, mittelhart		
			84			2.24
			86	Kalk, dunkelgrau, hart		
			88			
			90			
			92			2.24
			94			
			96			
			98			
			100			2.24
			102	Kalk, dunkelgrau, hart-mittelhart		
			104			
			106	Mergeliger Kalk, dunkelgrau, mittelhart		
			108	Mergel, dunkelgrau, mittelhart		2.24
			110	Mergel, dunkelgrau, weich		
			112			
			114	Mergel, dunkelgrau, mittelhart		
			116	Kalk, dunkelgrau, hart		2.24
			118			
			120			
			122			
			124			2.24
			126			
			128	Mergel, dunkelgrau, weich		
			130			2.24
			132	Mergel, dunkelgrau, weich-mittelhart		
			134			
			136			
			138	Mergel, dunkelgrau, weich-mittelhart		2.24
			140	Kalk, dunkelgrau, hart		
			142			
			144			
			146			1.72
			148			
			150	Mergeliger Kalk, dunkelgrau, hart-mittelhart,		
			152	Mergel, dunkelgrau, mittelhart		
			154	Mergel, dunkelgrau, mittelhart-weich		1.72
			156			
			158			
			160			

Querschnitt der Bohrung mit Isolation (Tubolit)



Messschema



Legende

	Wärmezähler
	Temperaturfühler
	Sole Vorlauf
	Sole Rücklauf
	Erdwärmesonde
	Erdwärmesonde mit Isolation
	Pumpe
	Betriebsstundenzähler
WP	Wärmepumpe

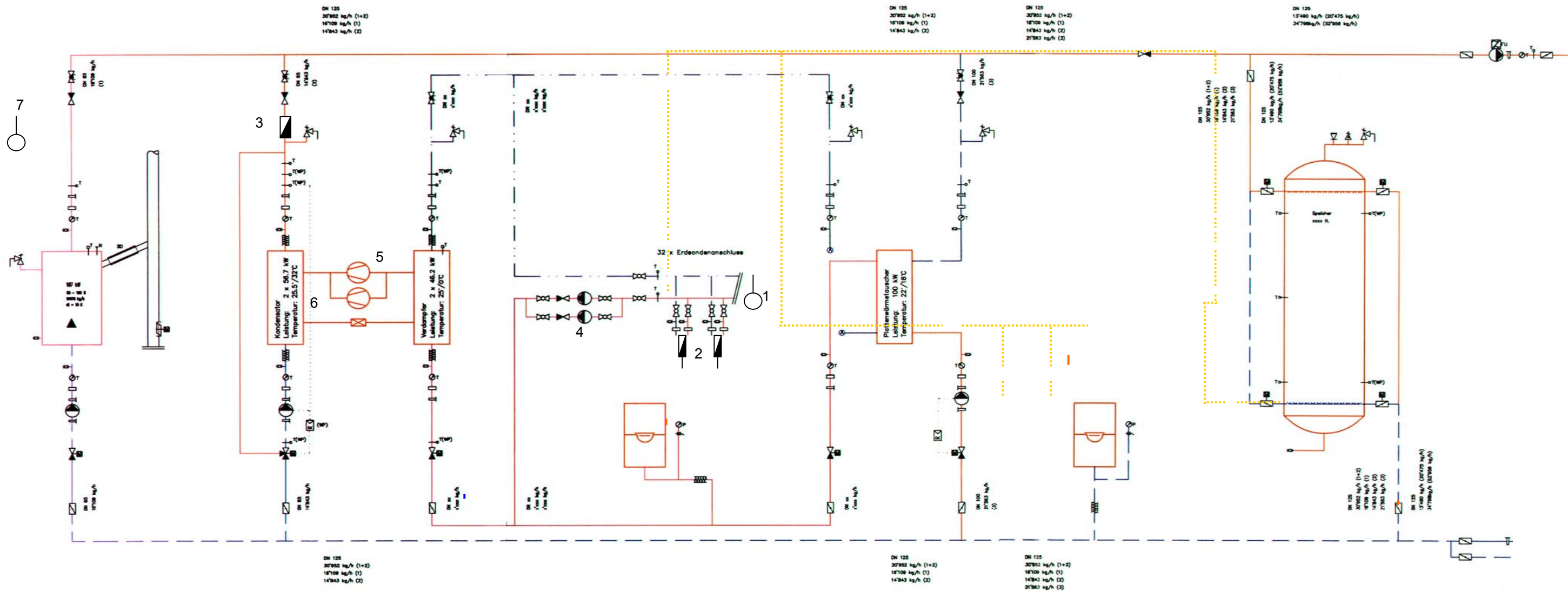
Temperaturfühler: 19 Stück
 -> 1 Aussentemperaturfühler
 -> 6 auf 150 m
 -> 6 auf 100 m
 -> 6 auf 15 m

Wärmezähler:
 2 im Primärkreislauf (je Serie 1 Zähler)
 1 im Sekundärkreislauf

Stromverbrauchszähler:
 2 im Primärkreislauf
 1 im Sekundärkreislauf

Betriebsstundenzähler:
 1 Stück

Bürogebäude "Bahnhof-Süd", Aarau - Prinzipschema der Wärmepumpenanlage mit zusätzlichen Installationen



Legende:

- 1 18 PT 100 Temperaturfühler in den Erdwärmesonden
- 2 1 Wärmezähler NeoVac SL-437 Mnrel
(je einer im isolierten und unisolierten System) - Primärkreislauf
- 3 1 Wärmezähler NeoVac SL-437 Mnrel - Sekundärkreislauf (Wärmekreislauf)
- 4, 5 je 2 Stromverbrauchszähler EMU-32.x1M im Primär- und Sekundärkreislauf bei den Kreislumpen und bei den Verdichtern
- 6 1 Betriebsstundenzähler
- 7 Aussentemperaturfühler

A 380	Wärmepumpenanlage "Bahnhof Süd", Aarau	EBERHARD & Partner AG Geologie • Energie • Umwelt
Aarau, den 3.8.05		

Detail aus dem Heizschema der Erdwärmesonde (Primärkreislauf)

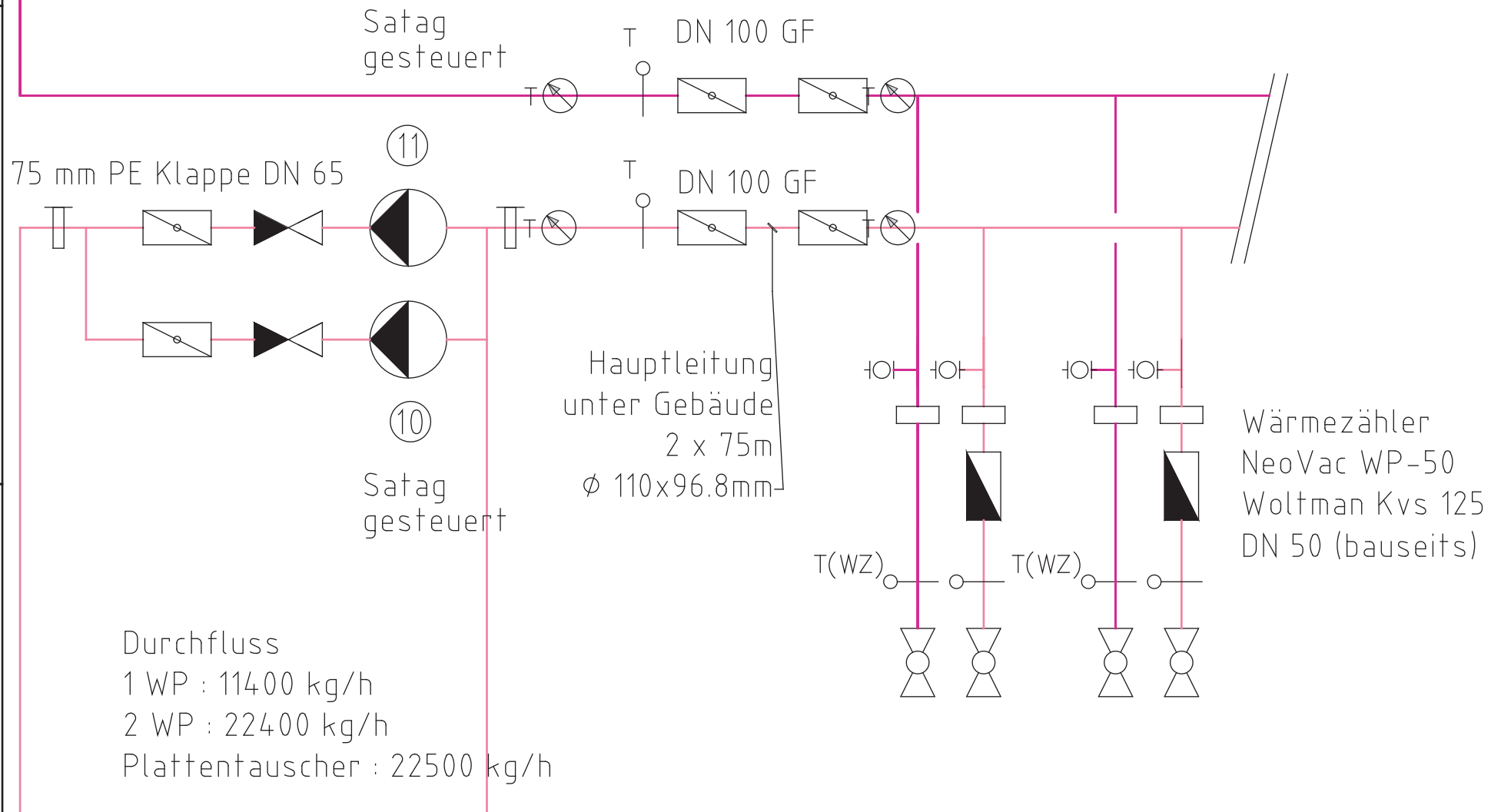
Aarau, 3.8.05

A 380

Erdwärmesondenanlage "Bahnhof Süd", Aarau

EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

2 x 2 x 8 Erdwärmesondenanschlüsse



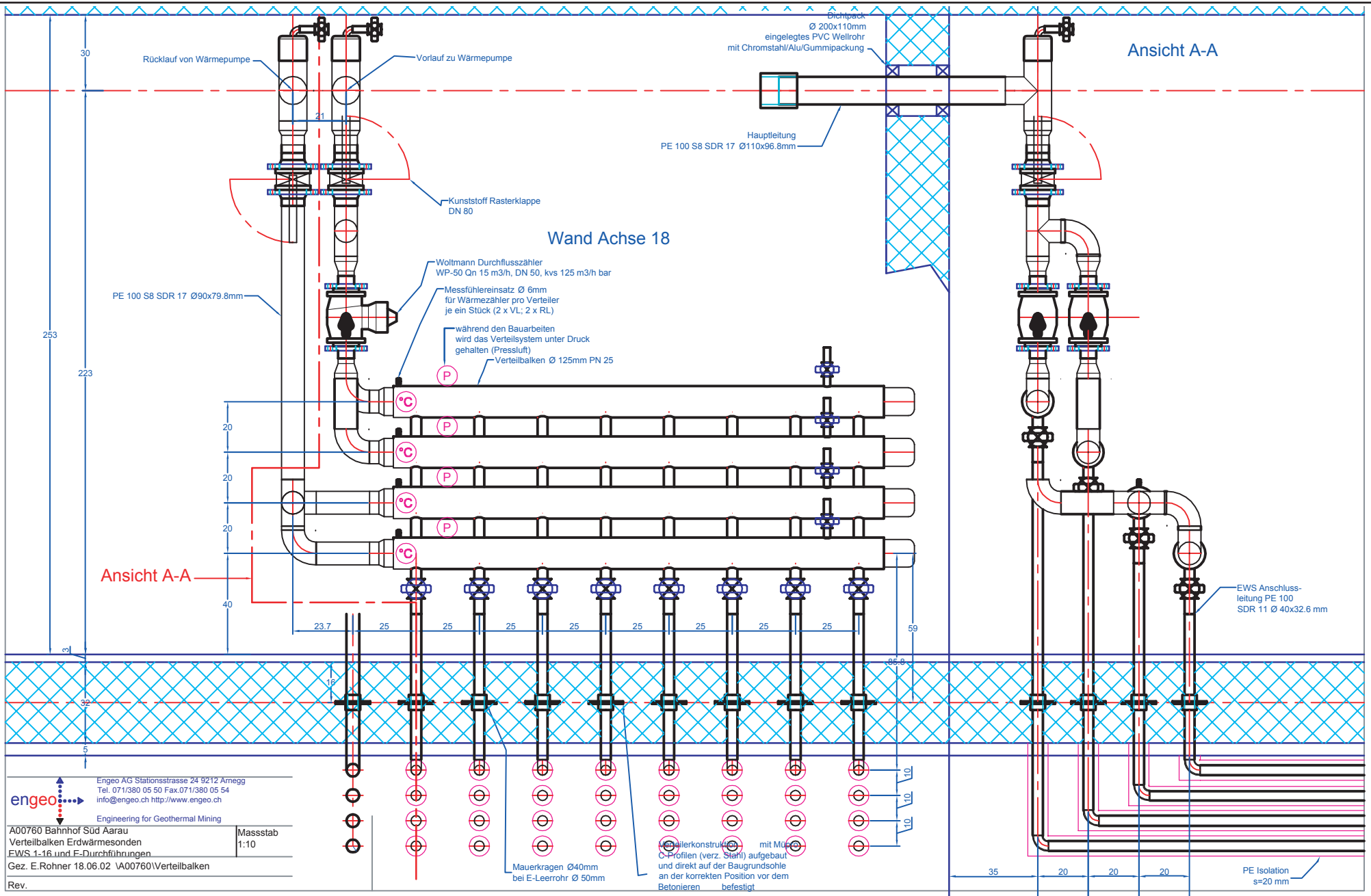
Sammelblock der 16 Erdwärmesonden im Untergeschoss des Gebäudes

Aarau, 3.8.05

A 380

Erdwärmesondenanlage "Bahnhof Süd", Aarau

EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt



Wärmeleitfähigkeit der Gesteinsschichten, Responsetest der Erdwärmesonde

Ergebnisse der Wärmeleitfähigkeitsmessungen

Probe	Tiefe [m]	ρ_m [g/cm ³]	λ_m [W/m,K]	$\Delta\lambda_m$ [W/m,K]
Aar 1	4 - 14	2.64	2.98	0.21
Aar 2	10 - 16	2.66	3.26	0.23
Aar 3	34	2.62	2.92	0.24
Aar 4	38 - 42	2.54	2.37	0.21
Aar 5	58	2.39	2.18	0.12
Aar 6	104 - 108	2.59	2.36	0.2
Aar 7	132	2.61	2.24	0.16
Aar 8	150	2.47	1.72	0.14

 ρ_m Matrixdichte λ_m Wärmeleitfähigkeit der Gesteinsmatrix $\Delta\lambda_m$ Messfehler

Wärmeleitfähigkeit der Sonde (Responsetest)

Erdwärmesonde Nr. 8

Anfängliche mittlere Bodentemperatur	13.7 °C
effektiver thermischer Widerstand	0.10 K/(W/m)
Mittlere thermische Leitfähigkeit der Untergrundgesteine	2.4 W/mK

Angaben zur Sonde:

Tiefe	150 m
Bohrdurchmesser	0.115 m
Sondentyp	Doppel-U
Rohr	Polyethylen
Rohrdurchmesser	32 mm
Rohr-Wandstärke	3 mm
Auffüllmaterial	Bentonit
Transportflüssigkeit beim Test	Wasser und 20% Ethylene Glycol
Durchfluss während des Tests	1'470 L/h = 24.5 L/min
Mittlere Wärmeleistung während des Tests	27.7 W/m

		Zusammengefasste Energie- und Leistungsdaten																				
Monat	Wärmeentzug			Strom					Heiz- wärme	Verlust	JAZ		Betriebsstunden		Wärmerückgabe		Gebäude- Abwärme	Strom	BSt			
	nicht isoliert	isoliert	total	Verdichter 1	Verdichter 2	UP 1	UP 2	total			WP	WPA	WP	UP	nicht isoliert	isoliert		UP 1 + 2	UP 1 + 2			
		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh			h	h	kWh	kWh	kWh	kWh	h			
Apr 03	Mai 03	9'341	10'666	20'007	2'732.0	2'777.0	26.1	221.1	5'756	23'946	1'570	4.3	4.2	550	275	0	0	0.0	0			
		3'382	3'428	6'810	851.0	836.0	10.8	56.6	1'754	8'168	329	4.8	4.7	134	81	0	0	0.0	0			
NP		0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0			0	0	0	0	0.0	0			
FC 03	Jun 03	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0			0	0	-13'445	-13'999	-27'444	472.3	440		
	Jul 03	215	231	446	63.7	58.1	1.4	3.5	127	505	63	4.146	4.0	23	7	-13'454	-13'952	-27'406	743.4	692		
	Aug 03	65	68	133	32.0	19.2	0.3	0.9	52	152	32	2.969	2.9	15	2	-15'240	-16'476	-31'716	765.2	713		
	Sep 03	967	1'023	1'990	192.4	185.1	4.6	16.1	398	2'145	223	5.682	5.4	47	27	-2'237	-2'301	-4'538	115.7	109		
HP 03 / 04	Okt 03	22'035	23'932	45'967	5'566.0	5'592.0	28.5	480.1	11'667	53'347	3'778	4.781	4.6	974	522	0	0	0	0.0	0		
	Nov 03	24'600	26'871	51'471	6'940.0	7'046.0	28.2	592.3	14'606	62'395	3'062	4.461	4.3	1'184	626	0	0	0	0.0	0		
	Dez 03	28'665	31'582	60'247	7'865.0	8'169.0	18.0	702.9	16'755	75'117	1'164	4.685	4.5	1'370	702	0	0	0	0.0	0		
	Jan 04	26'078	28'468	54'546	7'545.9	7'753.6	17.5	676.6	15'994	68'854	992	4.5	4.3	1'309	676	0	0	0	0.0	0		
	Feb 04	22'125	24'503	46'628	6'479.0	6'646.3	31.9	563.9	13'721	57'791	1'962	4.403	4.2	1'142	609	0	0	0	0.0	0		
	Mrz 04	20'650	22'638	43'288	5'931.2	6'042.2	46.0	502.6	12'522	52'411	2'850	4.377	4.2	1'063	589	0	0	0	0.0	0		
	Apr 04	10'481	11'623	22'104	2'999.2	3'042.6	51.3	250.2	6'343	26'056	2'090	4.313	4.1	597	368	0	0	0	0.0	0		
	Mai 04	6'622	7'396	14'018	1'816.4	1'832.1	41.8	147.1	3'837	16'260	1'407	4.457	4.2	384	238	-202	-178	-380	9.7	9		
FC 04	Jun 04	1'828	2'085	3'913	509.0	496.0	16.7	35.4	1'057	4'577	341	4.554	4.3	114	77	-3'162	-3'092	-6'254	144.0	136		
	Jul 04	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0			0	0	-15'219	-14'949	-30'168	773.3	720		
	Aug 04	1'519	1'625	3'144	333.0	348.0	9.9	29.0	720	3'517	308	5.164	4.9	79	53	-8'069	-8'135	-16'204	404.9	377		
HP 04 / 05	Sep 04	7'297	7'946	15'243	1'764.0	1'762.0	40.3	143.9	3'710	17'031	1'738	4.83	4.6	378	240	-4'206	-4'253	-8'459	191.2	178		
	Okt 04	15'399	16'840	32'239	3'877.0	3'960.0	59.3	338.3	8'235	36'704	3'372	4.683	4.5	781	471	0	0	0	0.0	0		
	Nov 04	25'923	28'698	54'621	6'939.0	7'198.0	25.1	636.9	14'799	65'944	2'814	4.665	4.5	1'251	659	0	0	0	0.0	2		
	Dez 04	27'285	30'470	57'755	7'813.0	8'135.0	20.1	694.9	16'663	71'049	2'654	4.455	4.3	1'346	700	0	0	0	0.0	0		
	Jan 05	27'187	30'700	57'887	7'975.0	8'236.0	15.6	701.3	16'928	70'042	4'056	4.321	4.1	1'346	694	0	0	0	0.0	0		
	Feb 05	24'250	27'548	51'798	7'227.0	7'486.0	12.5	639.0	15'365	62'408	4'103	4.242	4.1	1'221	628	0	0	0	0.0	0		
	Mrz 05	17'280	19'713	36'993	5'081.0	5'208.0	49.4	442.5	10'781	43'789	3'493	4.256	4.1	951	542	0	0	0	0.0	0		
	Apr 05	10'784	12'371	23'155	3'099.0	3'163.0	54.7	267.4	6'584	26'654	2'763	4.256	4.0	639	393	-857*	-835*	-1692*	30*	28*		
	Mai 05	6'565	7'514	14'078	1'799.0	1'808.0	37.2	155.7	3'800	15'975	1'710	4.429	4.2	390	243	-4478*	-4526*	-9004*	132*	123*		
FC 03																-44'376		-46'728	-91'104		2'097	1'954
HP 03/04		164'051	180'121	344'172	45'844.1	46'804.9	284.5	3'967.3	96'901	418'953	17'868	4.5	4.3	8'184	4'434							
FC 04																-30'858		-30'607	-61'465		1'523	1'420
HP 04/05		163'488	183'424	346'912	45'907.0	47'304.0	324.1	4'049.0	97'584	413'113	27'010	4.4	4.2	8'380	4'623							
2 Jahre		327'539	363'545	691'084	91'751	94'109	609	8'016	194'485	832'066	44'878	4.5	4.3	16'564	9'065	-75'234	-77'335	-152'569	3'620	3'374		
BSt : Betriebsstunden, HP : Heizperiode, FC : Free-Cooling, NP : neutrale Phase (31.5. - 11.6.), UP : Umwälzpumpe, WP : Wärmepumpe, WPA : WP-Anlage, * in der Auswertung nicht berücksichtigt																						
In der Zusammenfassung nicht enthalten																						

Aarau, 08. 2005		A 380		Zusammengefasste Temperaturdaten (Monatsmittel)																																																							
				Sondentemperaturen														Primärtemperaturen (beim Sammelblock)										Sekundär-temperaturen				Aussen-temp.																											
				Sonde 1 - 8 (nicht isoliert)						Sonden 9 - 16 (isoliert)								Sonde 1 - 8 (ni)				Sonde 9 - 16 (i)						Vorlauf		Rücklauf																													
				15 m		100 m		150 m		15 m		45 m		100 m		150 m		Vorlauf		Rücklauf		Vorlauf		Rücklauf		Vorlauf		Rücklauf																															
Monat		HP °C		FC °C		HP °C		FC °C		HP °C		FC °C		HP °C		FC °C		HP °C		FC °C		HP °C		FC °C		HP °C		FC °C		HP °C		FC °C		HP °C		FC °C																							
Apr 03		7.7				9.0				11.2				8.3		8.3		9.6		11.3				7.5		9.2		7.0		9.3		30.8		25.8		12.9																							
Mai 03		8.1				9.0				11.2				8.7		9.0		10.2		11.0				9.9		6.2		9.7		6.3		33.9		26.2		16.3																							
NP		10.5				12.1				15.7				11.3		11.0		12.4		15.4				15.3		15.3		15.3		14.7		25.7		25.5		24.7																							
FC 03		Jun 03				19.2				19.1		19.2				18.7		18.9		18.1		18.8				19.6		22.8		19.8		22.9		26.6		25.4		25.3																					
		Jul 03				18.1				18.0		18.4				17.9		17.9		17.5		18.0				18.7		20.8		18.8		20.9		24.6		23.1		22.7																					
		Aug 03				19.5				19.4		19.6				19.3		19.4		18.7		19.2				20.1		22.5		20.2		22.6		26.2		24.7		24.6																					
HP 03 / 04		Sep 03		13.2		16.4		13.9		16.6		15.7		17.0		13.8		16.2		14.1		16.2		14.6		16.0		15.1		16.7		15.5		17.1		12.6		19.2		15.3		17.2		12.8		19.3		28.2		26.7		21.7		22.5		16.1		22.4	
		Okt 03		5.6				6.4				7.6				6.7		6.5		7.3		7.8				7.4		2.9		7.2		3.0		35.3		26.6				7.6																			
		Nov 03		3.7				4.5				5.6				4.7		4.6		5.5		5.9				5.4		1.1		5.2		1.3		36.5		28.0				5.7																			
		Dez 03		2.7				3.4				4.5				3.2		3.5		4.6		4.9				4.3		0.1		4.1		0.3		36.9		27.7				2.2																			
		Jan 04		1.8				2.5				3.6				1.8		2.5		3.8		4.1				1.9		-0.7		3.2		-0.6		44.6		33.9				2.1																			
		Feb 04		2.1				2.8				4.0				2.1		2.7		4.0		4.4				3.6		-0.4		3.4		-0.3		36.3		27.9				3.0																			
		Mrz 04		2.3				2.9				4.2				2.2		2.8		4.2		4.7				3.8		-0.2		3.5		0.0		35.7		27.5				5.7																			
		Apr 04		4.5				5.0				6.6				4.7		4.9		6.0		6.9				6.0		2.6		5.8		2.8		36.6		29.2				8.8																			
		Mai 04		6.0				6.4				8.3				6.2		6.2		7.5		8.5				7.6		4.3		7.2		4.4		36.4		29.1				10.5																			
		FC 04		Jun 04		8.0		13.5		8.4		13.3		10.7		14.1		8.1		13.3		8.2		13.0		9.4		12.8		10.6		14.0		9.8		14.1		6.8		16.6		9.4		14.1		6.9		16.7		36.7		25.4		29.4		21.6		17.7	
Jul 04						15.5				15.3		15.9						15.8		15.1		14.7		15.5				16.0		18.3		16.1		18.4		22.2		20.8				20.3																	
Aug 04				9.9		16.1		10.3		15.8		12.1		16.4		10.4		15.8		10.5		15.7		11.1		15.3		11.8		16.0		11.8		16.6		8.4		18.9		11.5		16.7		8.5		19.2		34.3		23.8		26.7		21.7		15.3		22.9	
Sep 04				7.6		15.7		8.1		15.4		9.7		16.0		8.2		15.4		8.2		15.3		9.0		14.9		9.6		15.6		9.4		16.2		5.7		18.5		9.1		16.3		5.8		18.7		34.7		23.4		27.2		22.2		13.2		21.7	
Okt 04				5.7				6.2				7.6				6.3		6.2		7.1		7.7				7.4		3.6		7.1		3.7		32.6		26.3				10.9																			
Nov 04				2.1				2.8				3.9				2.3		2.8		4.0		4.2				3.8		-0.4		3.4		-0.2		35.2		26.5				5.0																			
Dez 04				1.0				1.5				2.8				0.9		1.6		3.1		3.2				2.5		-1.5		2.3		-1.4		36.4		27.7				2.1																			
Jan 05				0.3				0.7				2.2				0.2		0.9		2.4		2.6				1.8		-2.2		1.5		-2.1		36.2		27.7				1.1																			
Feb 05				-0.2				0.2				1.7				-0.2		0.2		1.7		2.2				1.3		-2.7		0.9		-2.4		36.1		27.8				0.2																			
Mrz 05				1.4				1.8				3.4				1.4		1.7		3.1		3.8				3.0		-0.7		2.6		0.3		35.8		28.2				6.0																			
Apr 05		3.5		10.9		3.8		10.8		5.6		11.6		3.5		11.0		3.7		10.3		5.0		10.1		5.9		11.7		5.1		11.5		1.8		14.6		4.7		11.5		3.2		14.4		36.1		28.4		29.0		20.0		9.2		22.0			
Mai 05		4.9		13.6		5.1		13.2		7.0		13.9		5.1		13.4		5.0		12.9		6.2		12.3		7.2		13.7		6.5		14.0		3.2		17.3		6.0		14.0		4.7		16.9		35.3		24.2		28.3		20.9		11.5		23.6			
FC 03				18.3				18.2				18.6				18.0				18.1				17.6				18.2				18.9				21.3				19.0				21.4				26.0				23.9				23.7			
HP 03/04		5.0				5.6				7.1				5.3				5.6		6.7		7.3				6.5		2.9		6.4		3.1		36.3		28.1				7.9																			
FC 04				15.2				14.9				15.6				15.1				14.8				14.4				15.7		18.1				15.8				18.2				23.7				21.6				21.9									
HP 04/05		3.6				4.1				5.6				3.8				4.1		5.3		5.8				5.3		1.5		4.9		2.0		35.3		27.5				7.4																			
2 Jahre		4.3		16.7		4.8		16.6		6.3		17.1		4.6		16.5		4.8		16.4		6.0		16.0		6.5		16.7		5.9		16.4		2.2		18.9		5.7		16.5		2.5		19.0		35.8		25.1		27.8		22.3		7.7		22.8			
HP : Heizperiode, FC : Free-Cooling, NP : neutrale Phase (31.5. - 11.6.), i : isoliert, ni : nicht isoliert																																																											
In der Zusammenfassung nicht enthalten																																																											

Aarau, 08. 2005		A 380		Temperaturen (Monatsmittel) in 15 m Tiefe und beim Sammelblock, Temperaturverlauf zwischen 15 m Tiefe und Sammelblock																						
				Monat	Sondentemperaturen				Primärtemperaturen (Sammelblock)								Aussen Temp.		Vgl. T 15 S (i) -(ni) 15 m		Vgl. TpV, SB S (i) -(ni) Vorlauf		Aufwärmung zwischen 15 m Tiefe und dem Sammelblock			
					S 1 - 8		S 9 - 16		Sonde 1 - 8 (ni)				Sonde 9 - 16 (i)										S 9-16 (i)		S 1-8 (ni)	
					15 m		15 m		Vorlauf		Rücklauf		Vorlauf		Rücklauf											
HP °C		FC °C		HP °C		FC °C		HP °C		FC °C		HP °C		FC °C		HP °C		FC °C		HP °C		FC °C				
Apr 03	7.7		8.3		7.5		9.2		7.0		9.3		12.9													
Mai 03	8.1		8.7		9.9		6.2		9.7		6.3		16.3													
NP	10.5		11.3		15.3		15.3		15.3		14.7		24.7		0.8		0.0		4.0		4.8					
FC 03		19.2		18.7		19.6		22.8		19.8		22.9		25.3		-0.5		0.2		1.1		0.4				
Jul 03		18.1		17.9		18.7		20.8		18.8		20.9		22.7		-0.2		0.1		0.9		0.6				
Aug 03		19.5		19.3		20.1		22.5		20.2		22.6		24.6		-0.2		0.2		0.9		0.6				
Sep 03	13.2	16.4	13.8	16.2	15.5	17.1	12.6	19.2	15.3	17.2	12.8	19.3	16.1	22.4	0.5	-0.2	-0.2	0.1	1.6	1.0	2.3	0.7				
Okt 03	5.6		6.7		7.4		2.9		7.2		3.0		7.6		1.1		-0.2		0.5		1.8					
Nov 03	3.7		4.7		5.4		1.1		5.2		1.3		5.7		0.9		-0.2		0.5		1.6					
Dez 03	2.7		3.2		4.3		0.1		4.1		0.3		2.2		0.5		-0.2		0.9		1.6					
Jan 04	1.8		1.8		1.9		-0.7		3.2		-0.6		2.1		0.0		1.3		1.4		0.1					
Feb 04	2.1		2.1		3.6		-0.4		3.4		-0.3		3.0		0.0		-0.3		1.3		1.5					
Mrz 04	2.3		2.2		3.8		-0.2		3.5		0.0		5.7		0.0		-0.3		1.3		1.5					
Apr 04	4.5		4.7		6.0		2.6		5.8		2.8		8.8		0.2		-0.3		1.1		1.5					
Mai 04	6.0		6.2		7.6		4.3		7.2		4.4		10.5		0.2		-0.4		1.1		1.6					
FC 04	8.0	13.5	8.1	13.3	9.8	14.1	6.8	16.6	9.4	14.1	6.9	16.7	17.7	22.6	0.1	-0.2	-0.5	0.0	1.3	0.8	1.8	0.6				
Jul 04		15.5		15.8		16.0		18.3		16.1		18.4		20.3		0.3		0.1		0.3		0.5				
Aug 04	9.9	16.1	10.4	15.8	11.8	16.6	8.4	18.9	11.5	16.7	8.5	19.2	15.3	22.9	0.4	-0.2	-0.3	0.1	1.1	0.8	1.9	0.5				
Sep 04	7.6	15.7	8.2	15.4	9.4	16.2	5.7	18.5	9.1	16.3	5.8	18.7	13.2	21.7	0.7	-0.3	-0.3	0.1	0.9	1.0	1.8	0.5				
Okt 04	5.7		6.3		7.4		3.6		7.1		3.7		10.9		0.6		-0.3		0.8		1.7					
Nov 04	2.1		2.3		3.8		-0.4		3.4		-0.2		5.0		0.1		-0.3		1.2		1.6					
Dez 04	1.0		0.9		2.5		-1.5		2.3		-1.4		2.1		-0.1		-0.3		1.4		1.5					
Jan 05	0.3		0.2		1.8		-2.2		1.5		-2.1		1.1		-0.1		-0.3		1.3		1.5					
Feb 05	-0.2		-0.2		1.3		-2.7		0.9		-2.4		0.2		0.1		-0.4		1.1		1.6					
Mrz 05	1.4		1.4		3.0		-0.7		2.6		0.3		6.0		0.0		-0.4		1.2		1.6					
Apr 05	3.5	10.9	3.5	11.0	5.1	11.5	1.8	14.6	4.7	11.5	3.2	14.4	9.2	22.0	-0.1	0.1	-0.4	0.0	1.2	0.5	1.6	0.6				
Mai 05	4.9	13.6	5.1	13.4	6.5	14.0	3.2	17.3	6.0	14.0	4.7	16.9	11.5	23.6	0.2	-0.2	-0.5	0.1	0.9	0.7	1.6	0.4				
FC 03		18.3		18.0		18.9		21.3		19.0		21.4		23.7		-0.3		18.9		1.0		0.6				
HP 03/04	5.0		5.3		6.5		2.9		6.4		3.1		7.9		0.3		6.5		1.1		1.5					
FC 04		15.2		15.1		15.7		18.1		15.8		18.2		21.9		-0.1		15.7		0.7		0.5				
HP 04/05	3.6		3.8		5.3		1.5		4.9		2.0		7.4		0.2		5.3		1.1		1.6					
2 Jahre	4.3	16.7	4.6	16.5	5.9	16.4	2.2	18.9	5.7	16.5	2.5	19.0	7.7	22.8	0.3	-0.2	-0.2	0.1	1.1	0.8	1.6	0.5				

HP : Heizperiode, FC : Free-Cooling, NP : neutrale Phase (31.5. - 11.6.), i : isoliert, ni : nicht isoliert, SB: Sammelblock

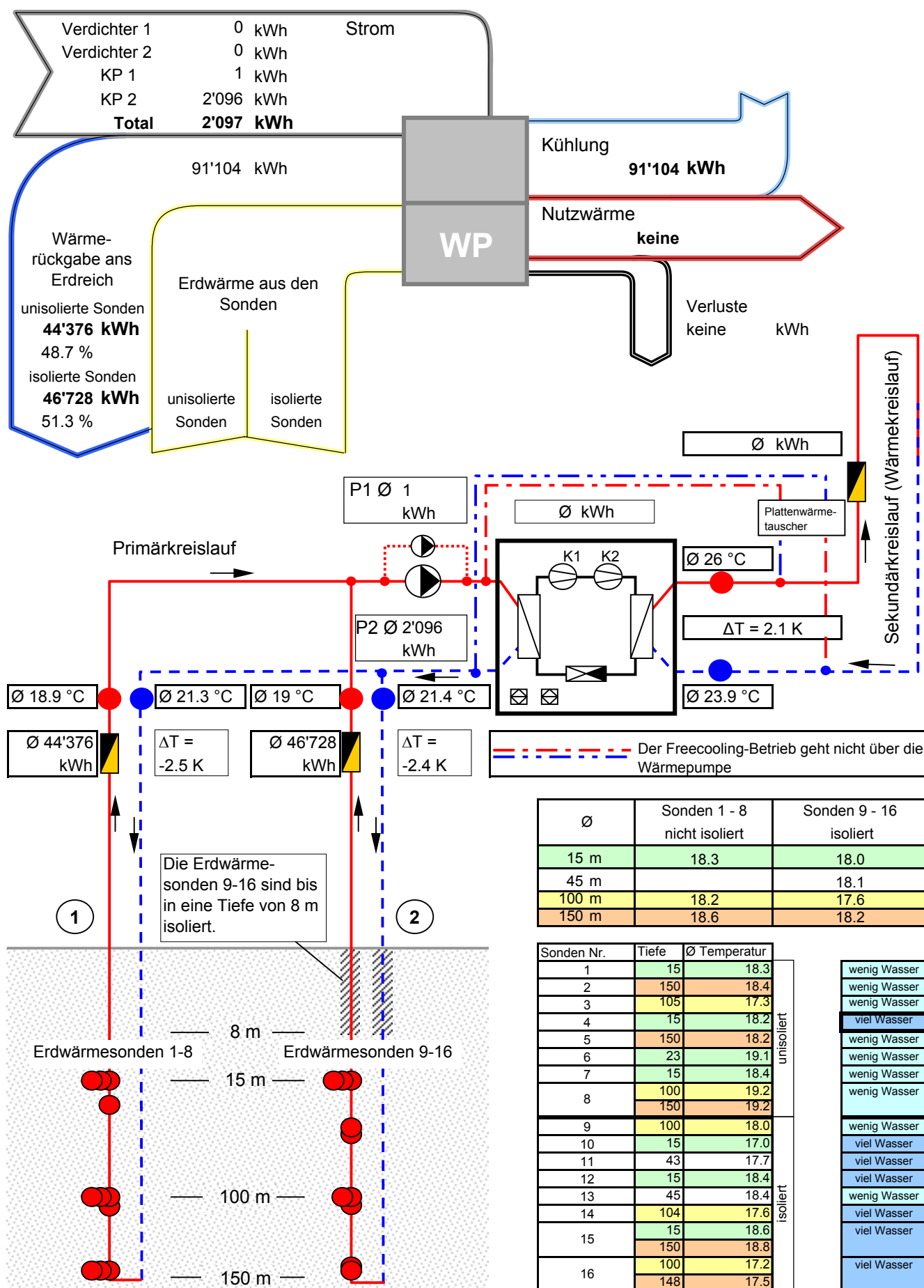
In der Zusammenfassung nicht enthalten

Temperatur von S 9-16 (i) höher als von S 1-8 (ni)

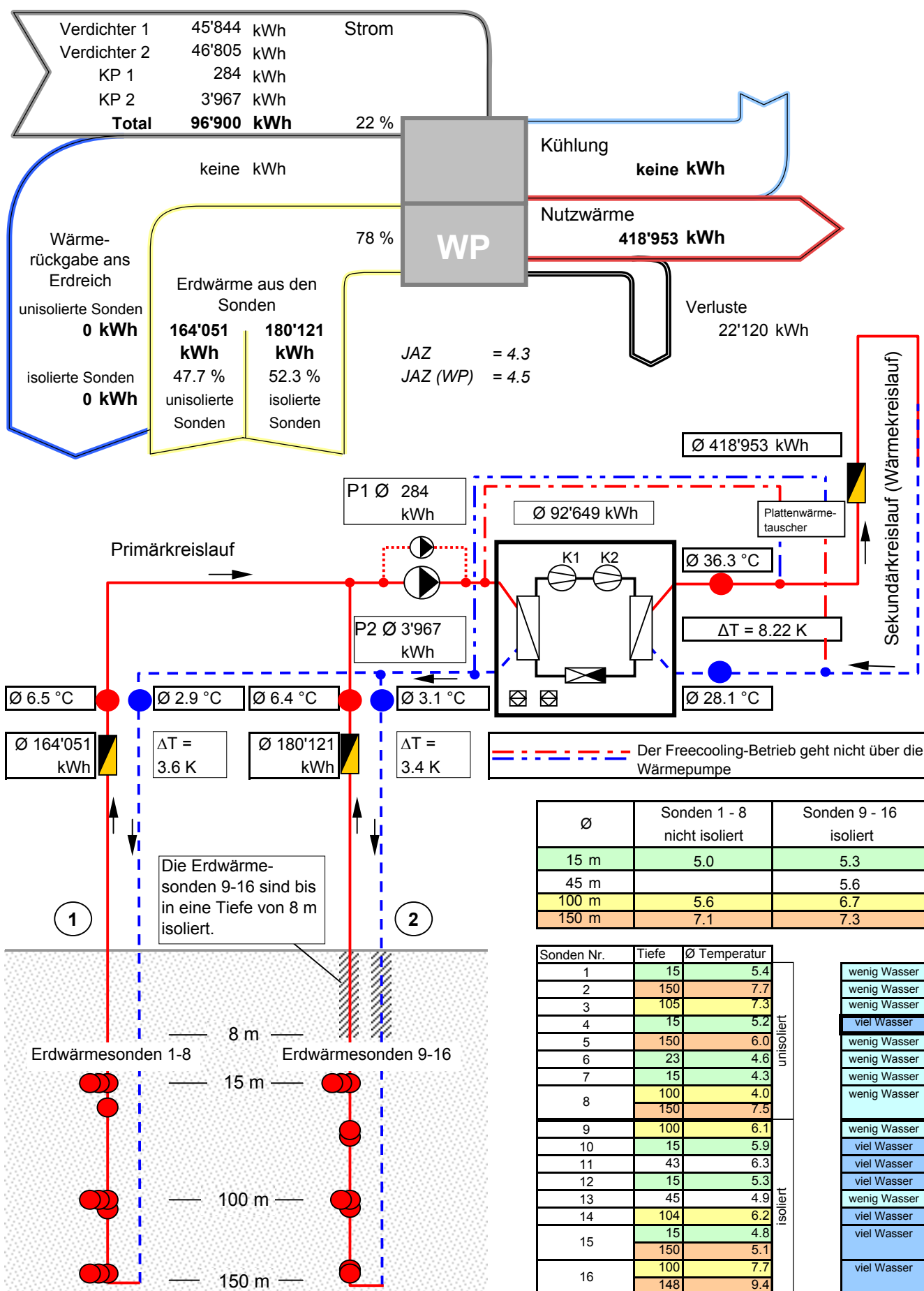
Temperatur von S 9-16 (i) tiefer als von S 1-8 (ni)

Temperatur bei Sammelblock höher als in 15 Tiefe

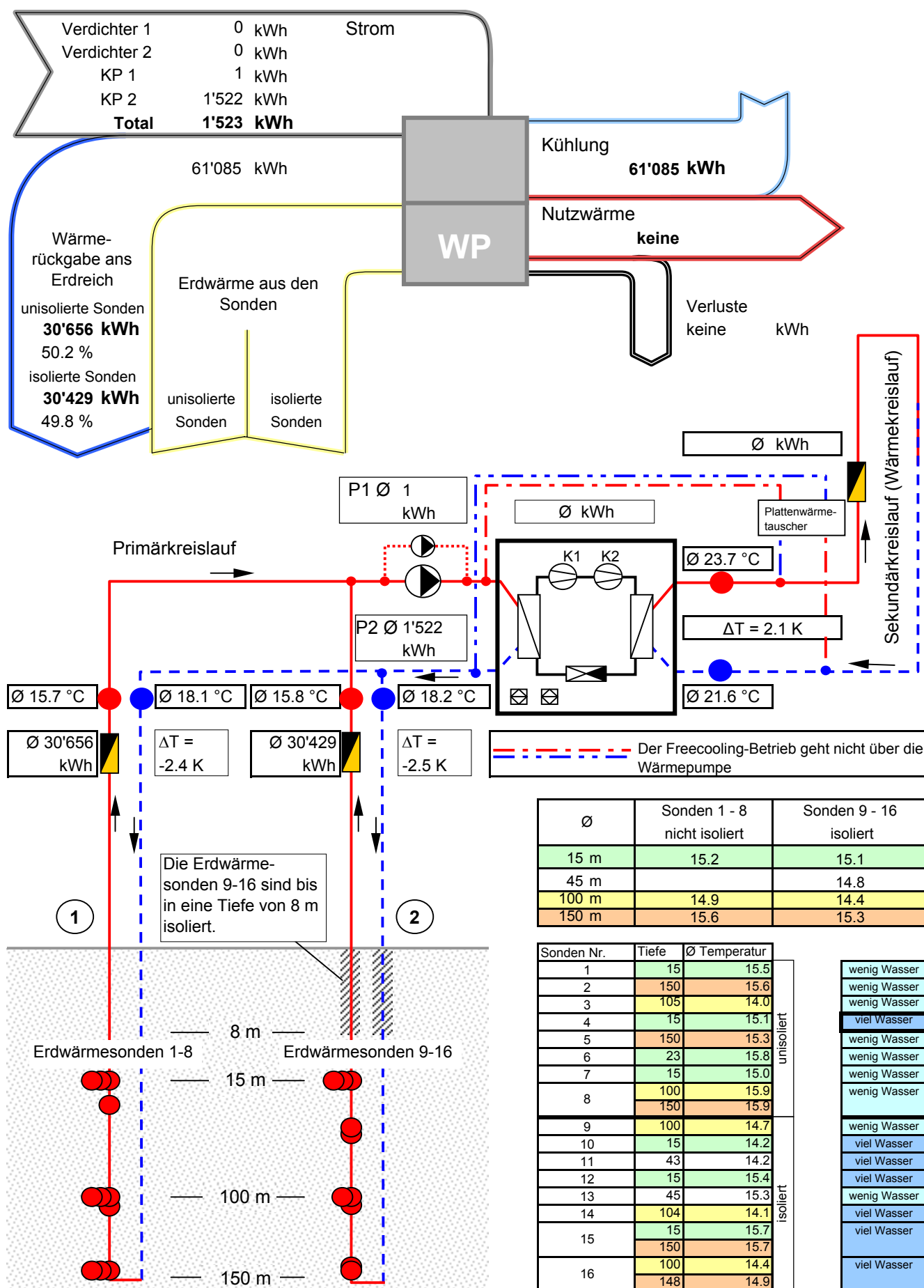
Temperaturen und Wärmebilanz in der Freecoolingperiode, Sommer 2003



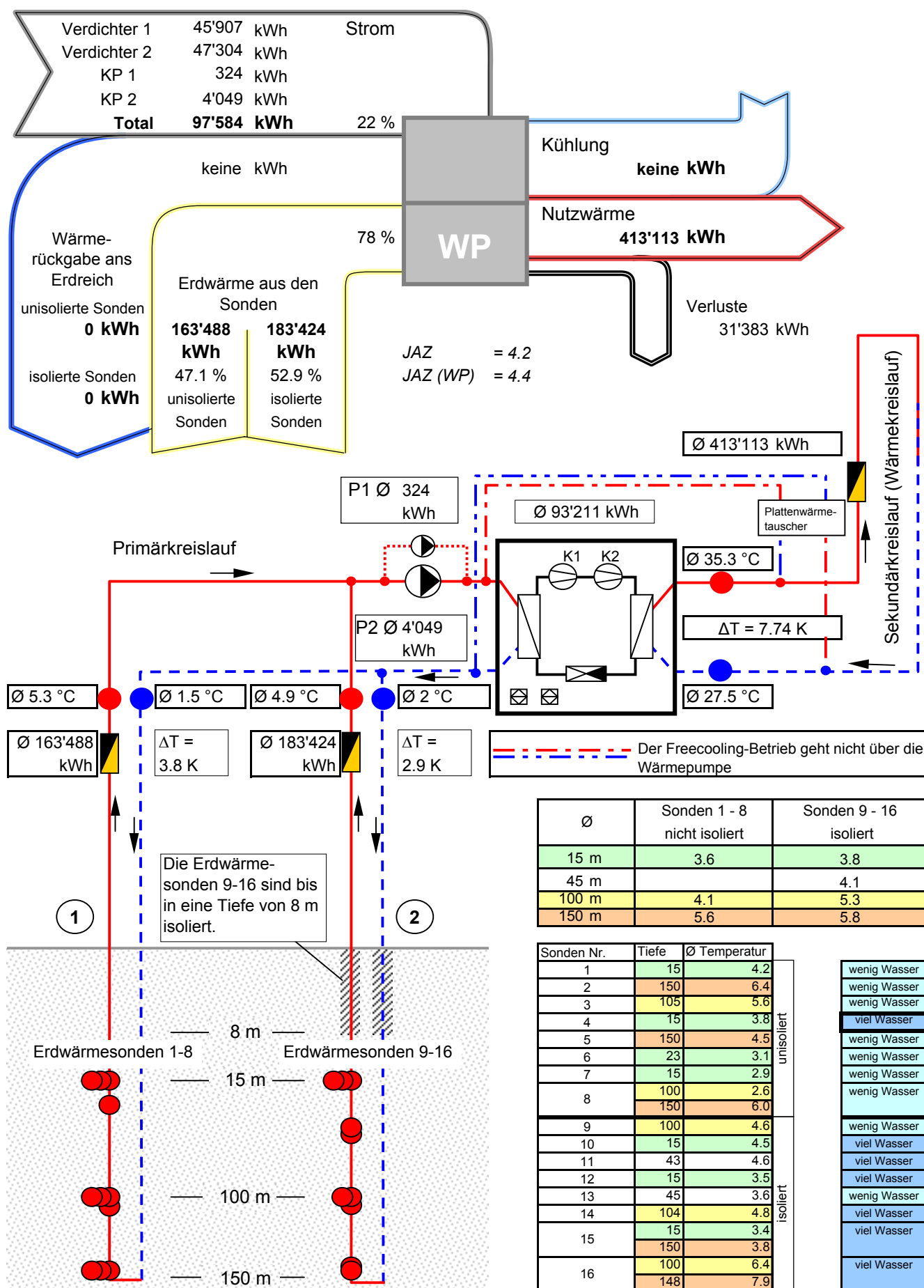
Temperaturen und Wärmebilanz in der Heizperiode, Winter 2003/2004



Temperaturen und Wärmebilanz in der Freecoolingperiode, Sommer 2004



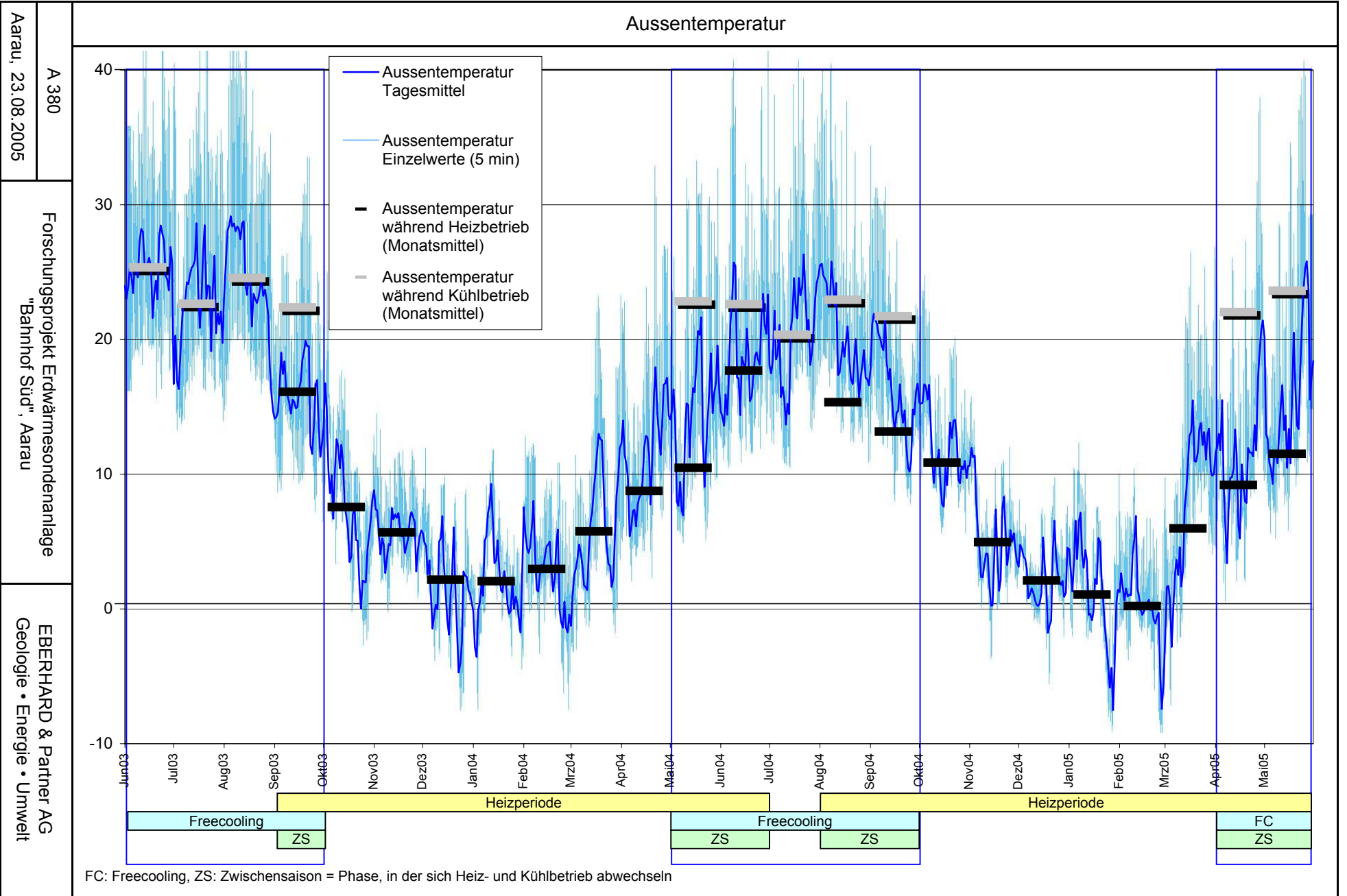
Temperaturen und Wärmebilanz in der Heizperiode, Winter 2004/2005



Ø	Sonden 1 - 8 nicht isoliert	Sonden 9 - 16 isoliert
15 m	3.6	3.8
45 m		4.1
100 m	4.1	5.3
150 m	5.6	5.8

Sonden Nr.	Tiefe	Ø Temperatur	
1	15	4.2	unisoliert
2	150	6.4	
3	105	5.6	
4	15	3.8	
5	150	4.5	
6	23	3.1	
7	15	2.9	
8	100	2.6	
	150	6.0	isoliert
9	100	4.6	
10	15	4.5	
11	43	4.6	
12	15	3.5	
13	45	3.6	
14	104	4.8	
15	15	3.4	
	150	3.8	
	100	6.4	
16	148	7.9	

wenig Wasser
wenig Wasser
wenig Wasser
viel Wasser
wenig Wasser
wenig Wasser
wenig Wasser
wenig Wasser
wenig Wasser
wenig Wasser
viel Wasser
viel Wasser
viel Wasser
wenig Wasser
viel Wasser
viel Wasser
viel Wasser

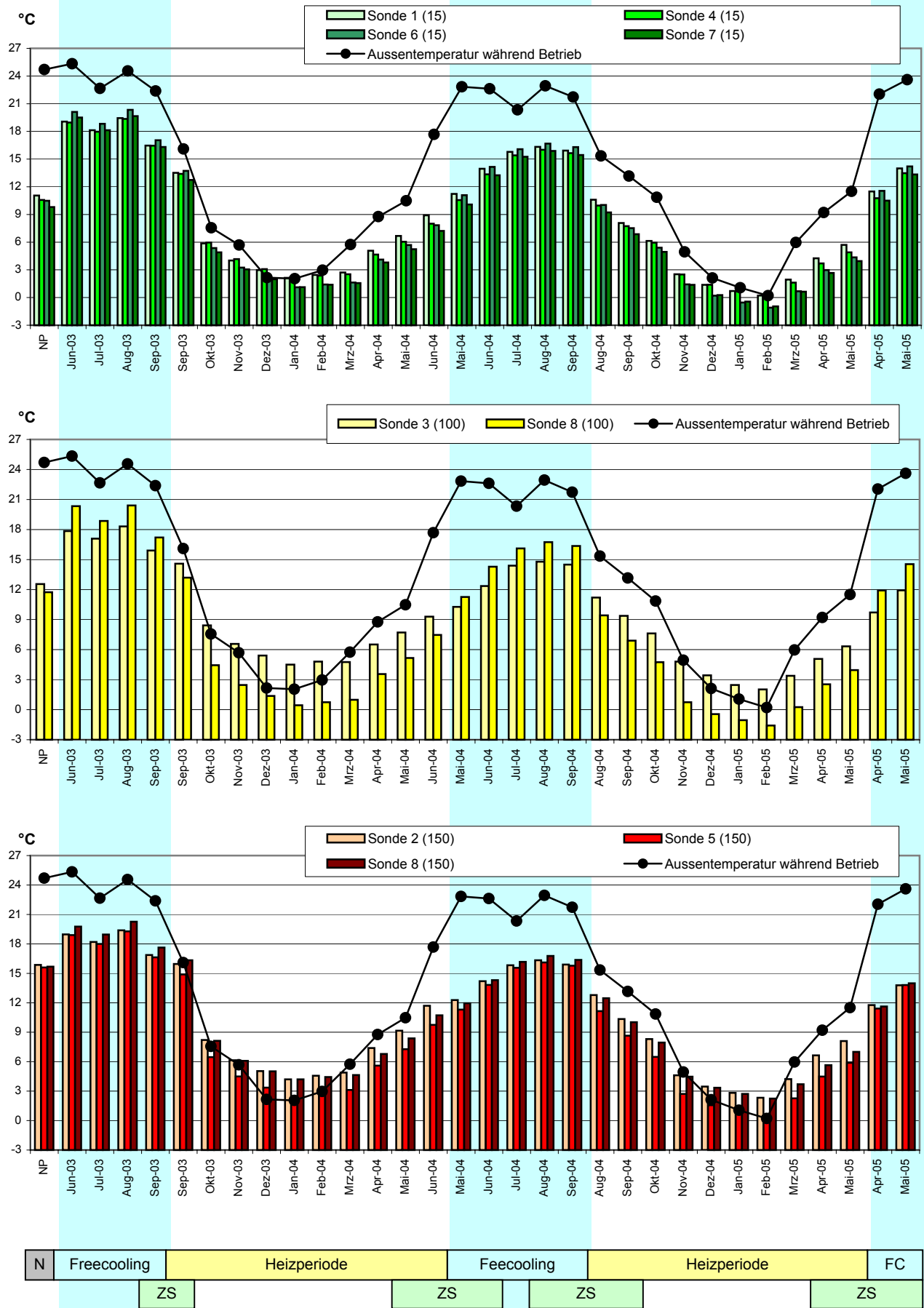


A 380
Aarau, 23.08.2005

Forschungsprojekt Erdwärmesondenanlage
"Bahnhof Süd", Aarau

EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

Temperaturen der Sonden 1 - 8 (nicht isoliert)



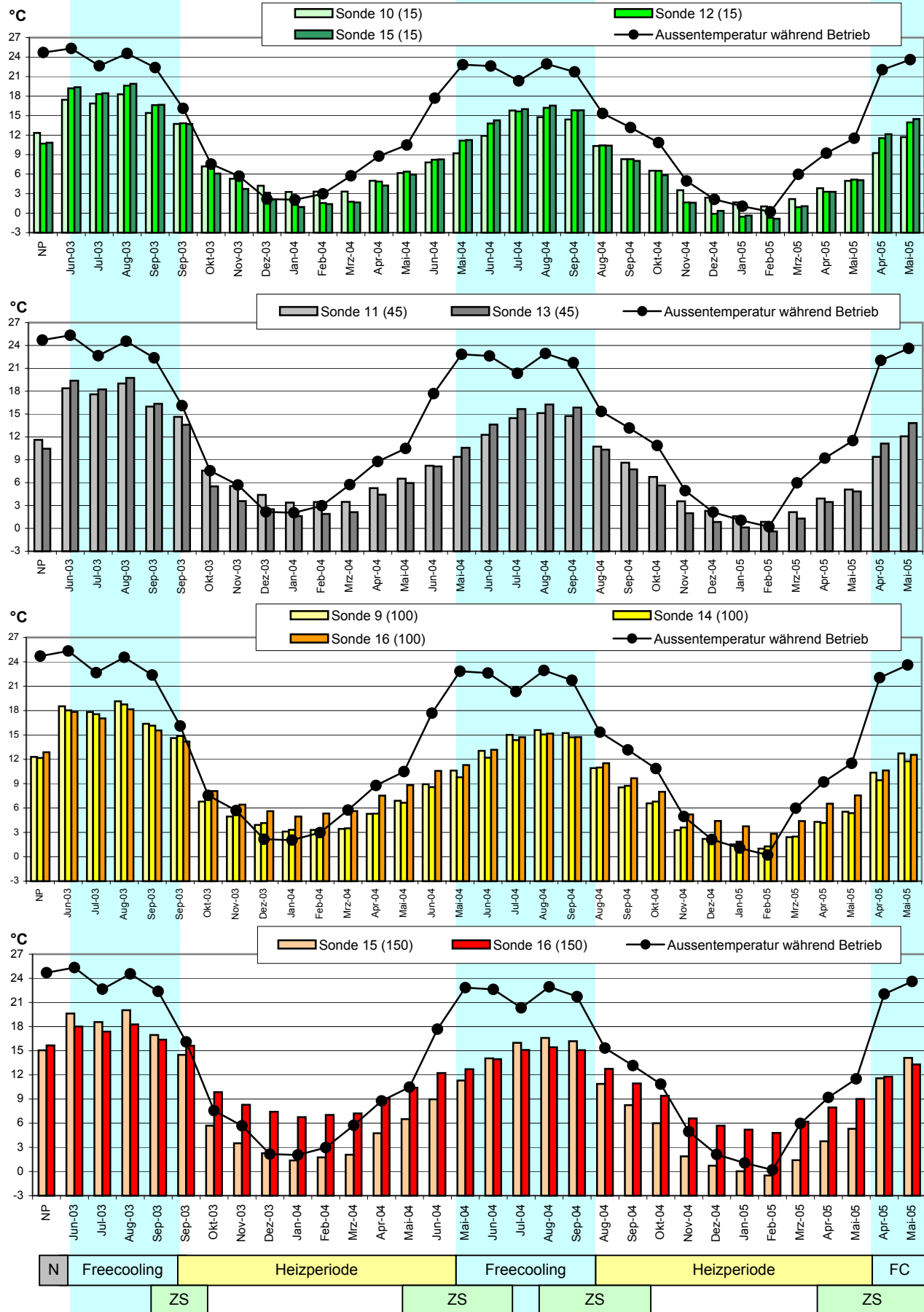
NP, N: Neutrale Phase, FC: Freecooling, ZS: Zwischensaison = Phase, in der sich Heiz- und Kühlbetrieb abwechseln

A380
23.08.2005

Forschungsprojekt Erdwärmesondenanlage
"Bahnhof Süd", Aarau

EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

Temperaturen der Sonden 9 - 16 (isoliert)



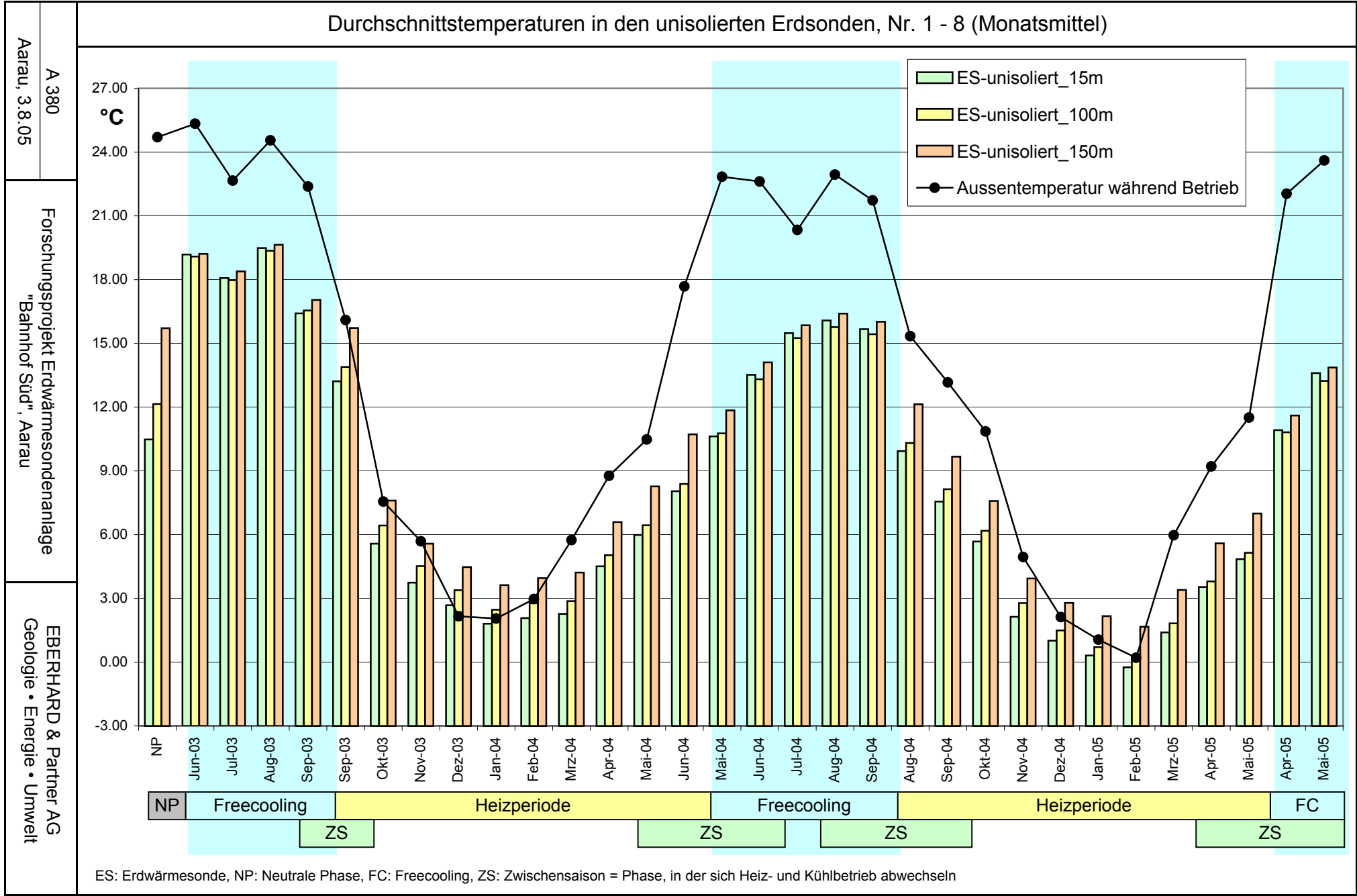
NP, N: Neutrale Phase, FC: Freecooling, ZS: Zwischensaison = Phase, in der sich Heiz- und Kühlbetrieb abwechseln

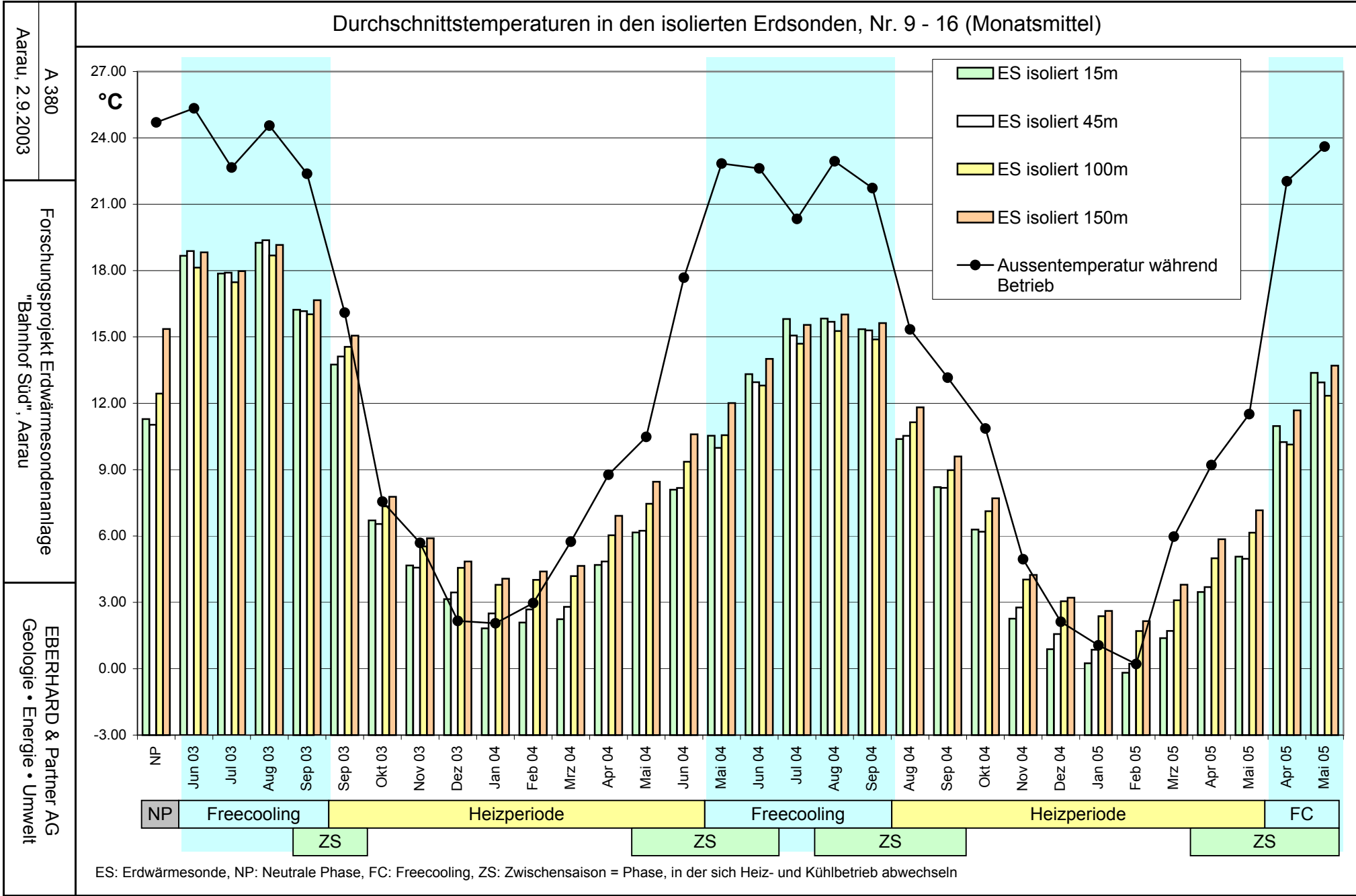
A380

23.08.2005

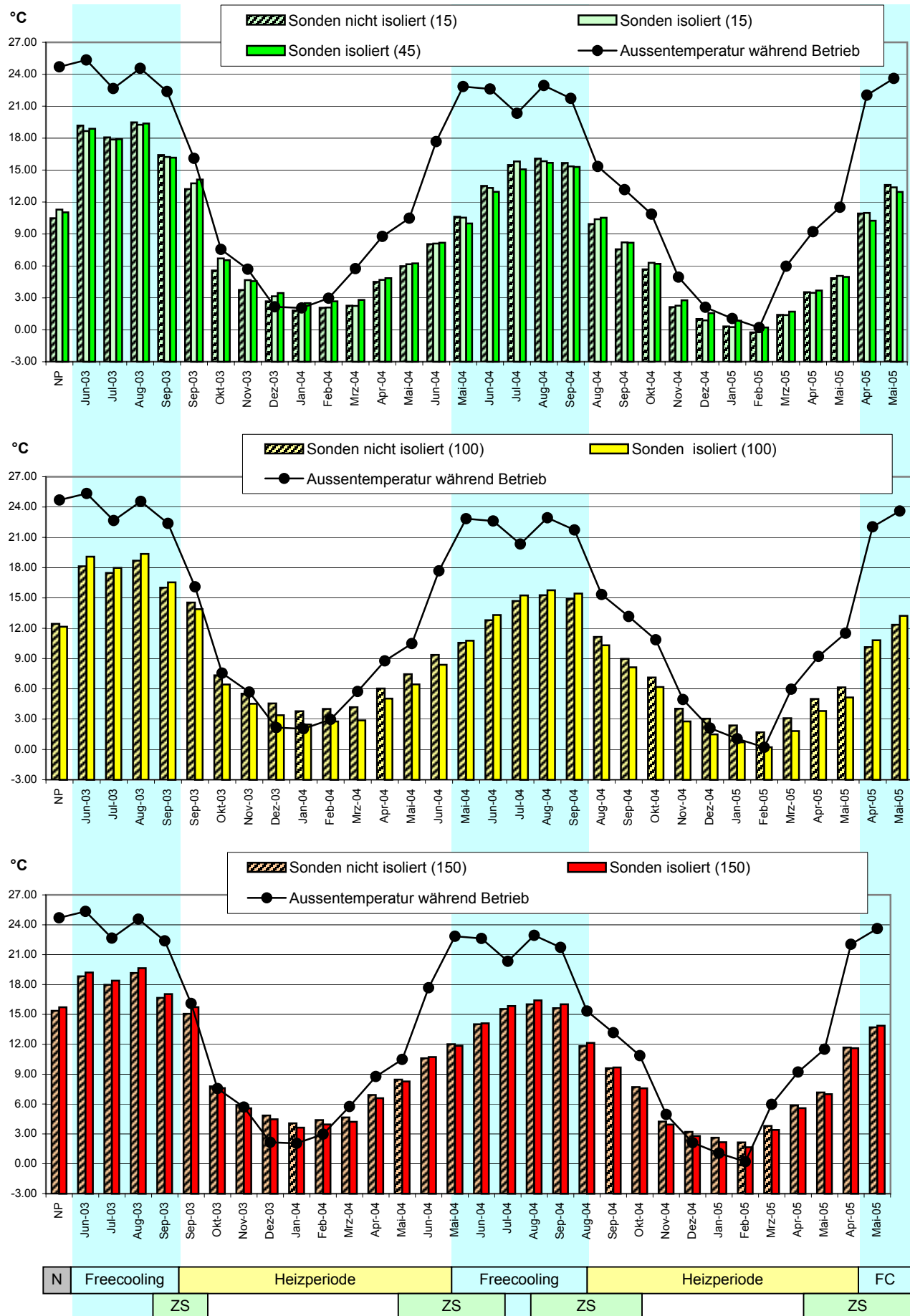
Forschungsprojekt Erdwärmesondenanlage
"Bahnhof Süd", Aarau

EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt





Temperaturvergleich der isolierten und nicht isolierten Sonden in gleicher Tiefe (Monatsmittel)



NP,N: Neutrale Phase, FC: Freecooling, ZS: Zwischensaison = Phase, in der sich Heiz- und Kühlbetrieb abwechseln

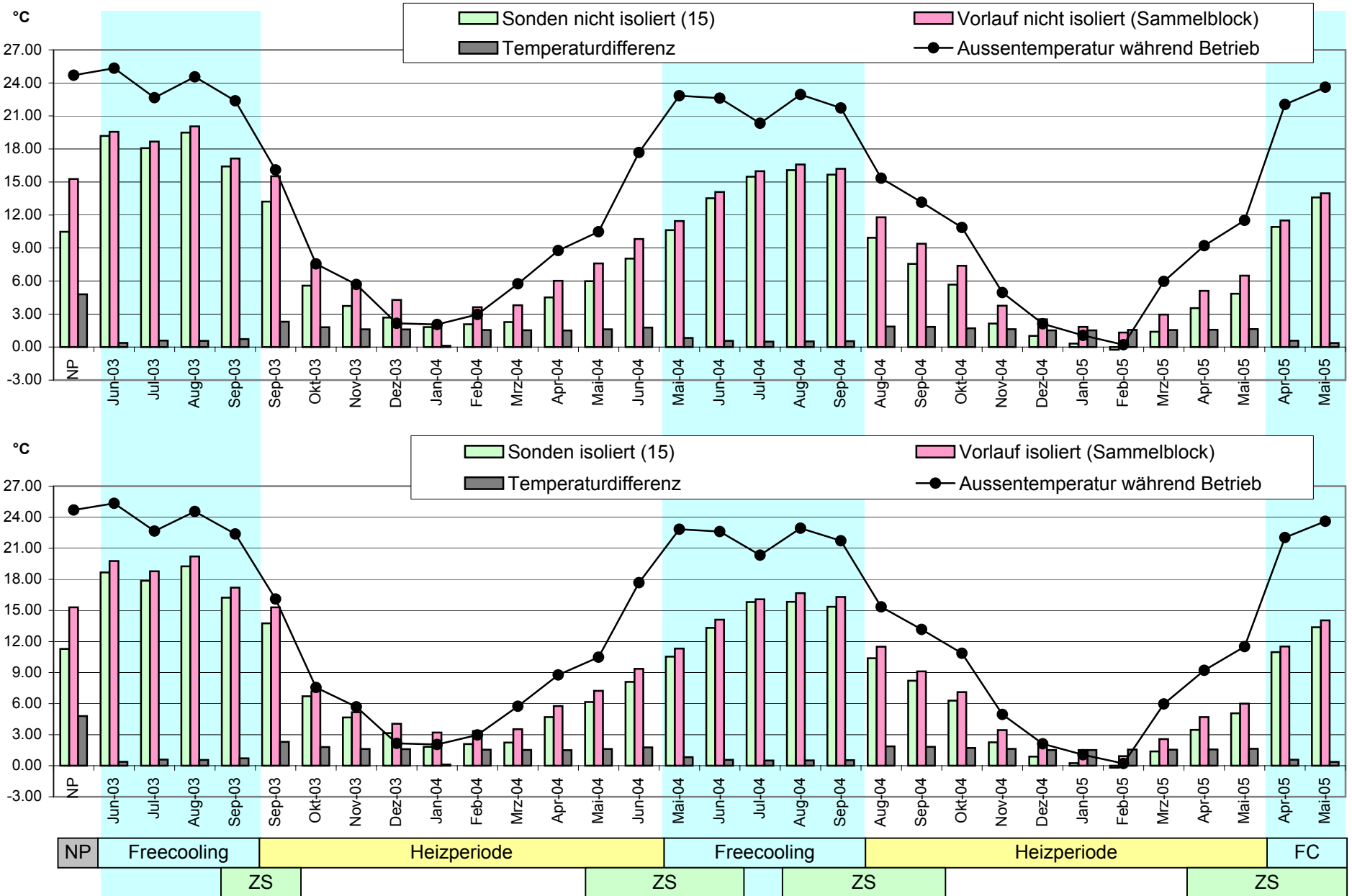
A380

23.08.2005

Forschungsprojekt Erdwärmesondenanlage
"Bahnhof Süd", Aarau

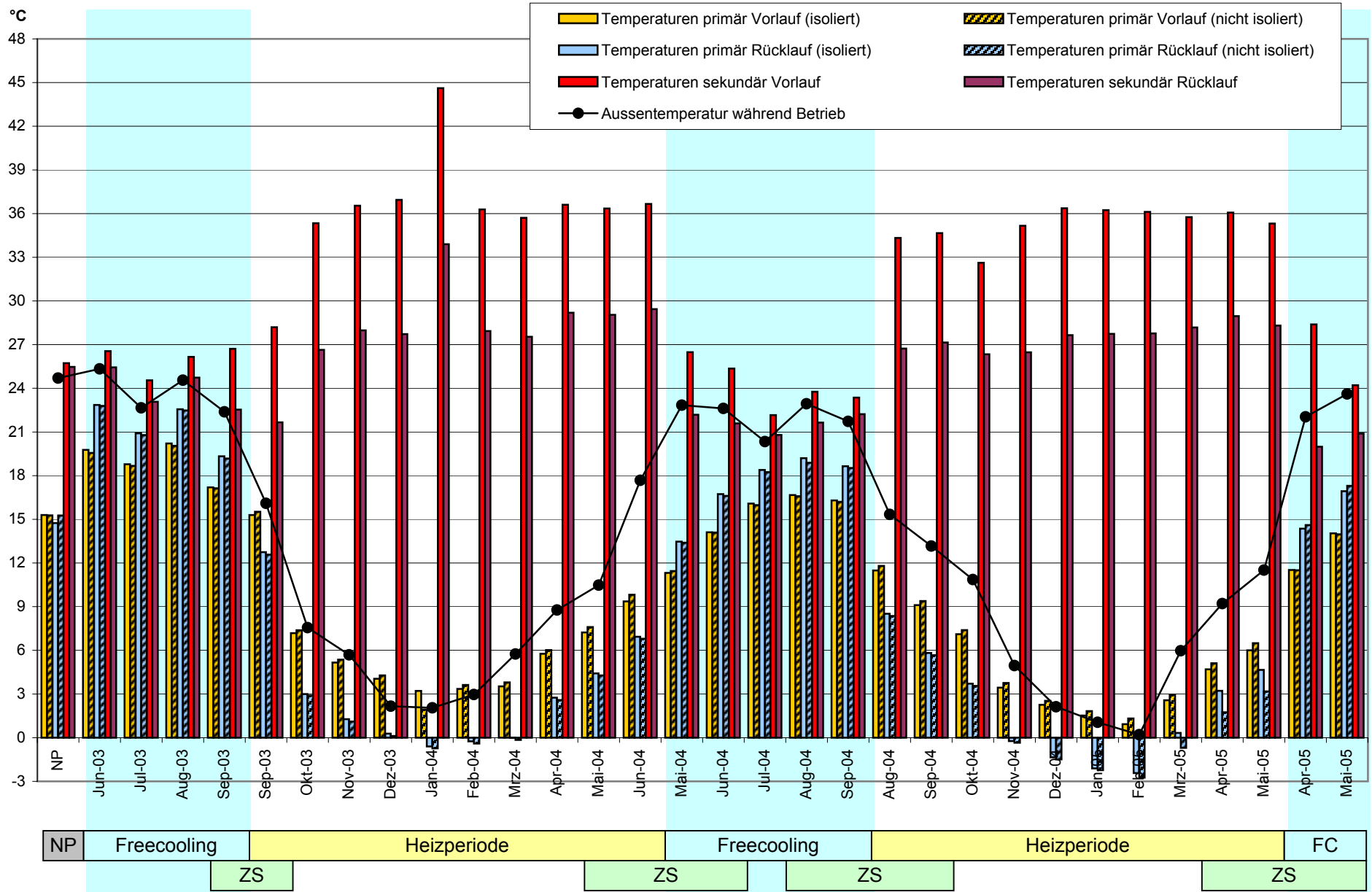
EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

Temperaturdifferenz zwischen 15 m Tiefe und dem Vorlauf beim Sammelblock (Monatsmittel)

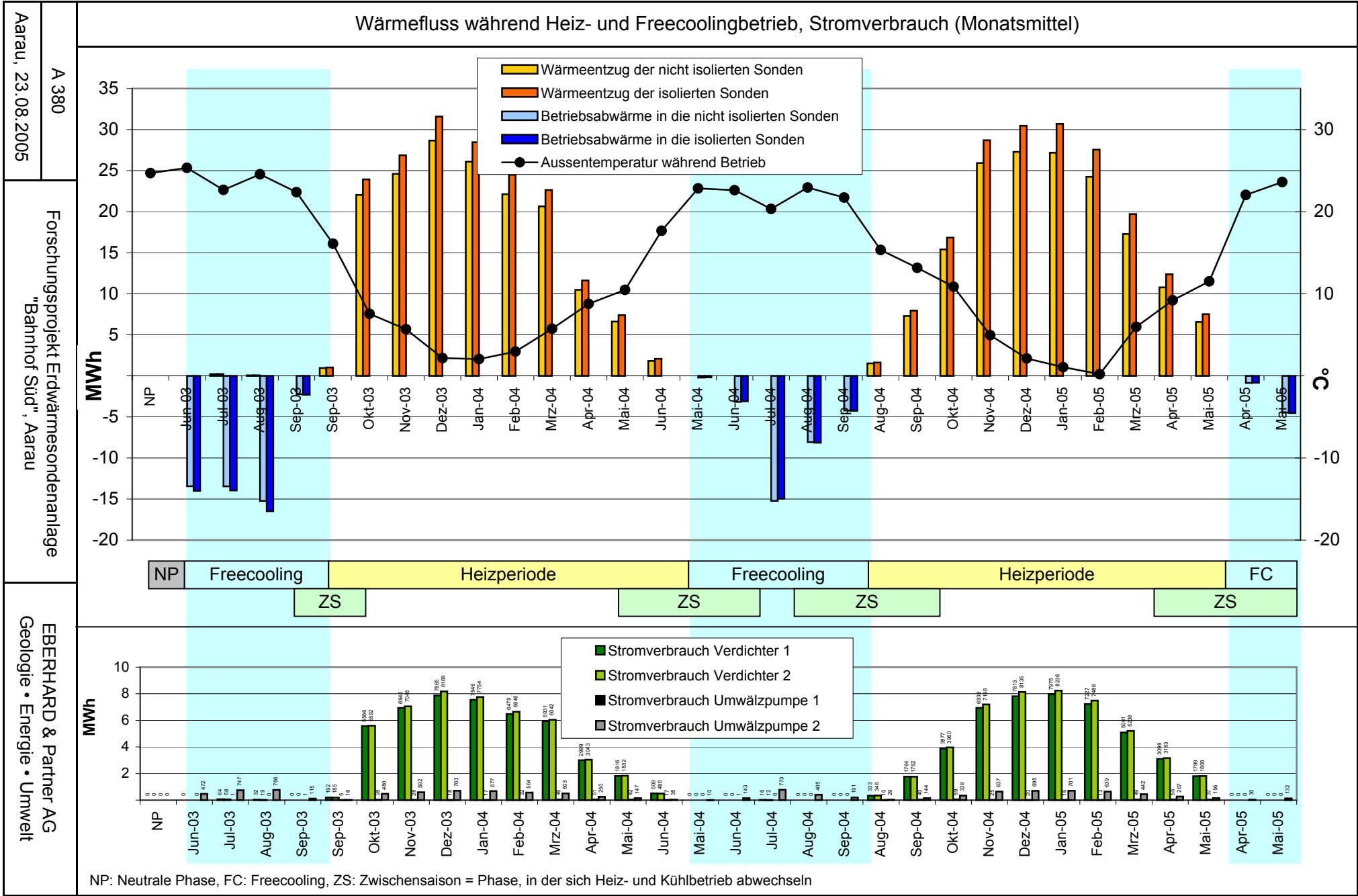


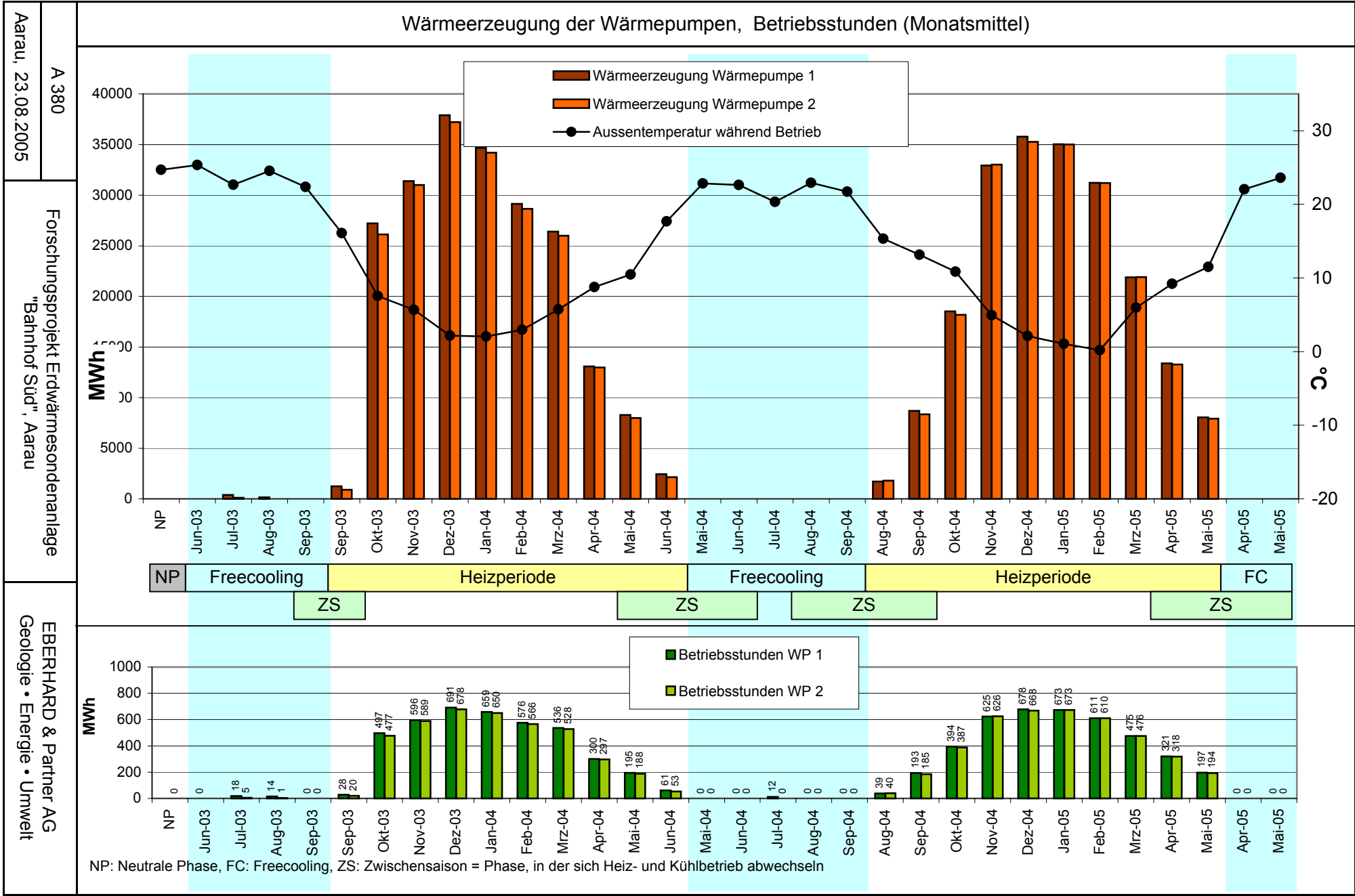
NP: Neutrale Phase, FC: Freecooling, ZS: Zwischensaison = Phase, in der sich Heiz- und Kühlbetrieb abwechseln

Vor- und Rücklauftemperaturen im Primär- und Sekundärkreislauf (Monatsmittel)



NP: Neutrale Phase, FC: Freecooling, ZS: Zwischensaison = Phase, in der sich Heiz- und Kühlbetrieb abwechseln





Berechnung der Wärmeentnahme und Rückgabe in 15 m, 100 m und 250 m Tiefe:

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

c = Konstante

m = Masse => Durchfluss (konstant)

Q = Wärmeenergie (Entnahme bzw. Rückgabe)

ΔT = Temperaturdifferenz zwischen Temperaturgradient (Null-Messung) und effektiv gemessenen Temperaturen

Daraus folgt: Q ist proportional zu ΔT

Die gemessene Wärmeenergie Q verteilt sich somit auf die ganzen Sonden proportional zu ΔT und weist nebenstehende Verteilung des Wärmeentzugs und der Wärmerückgabe (aufgeteilt nach Monaten) auf.

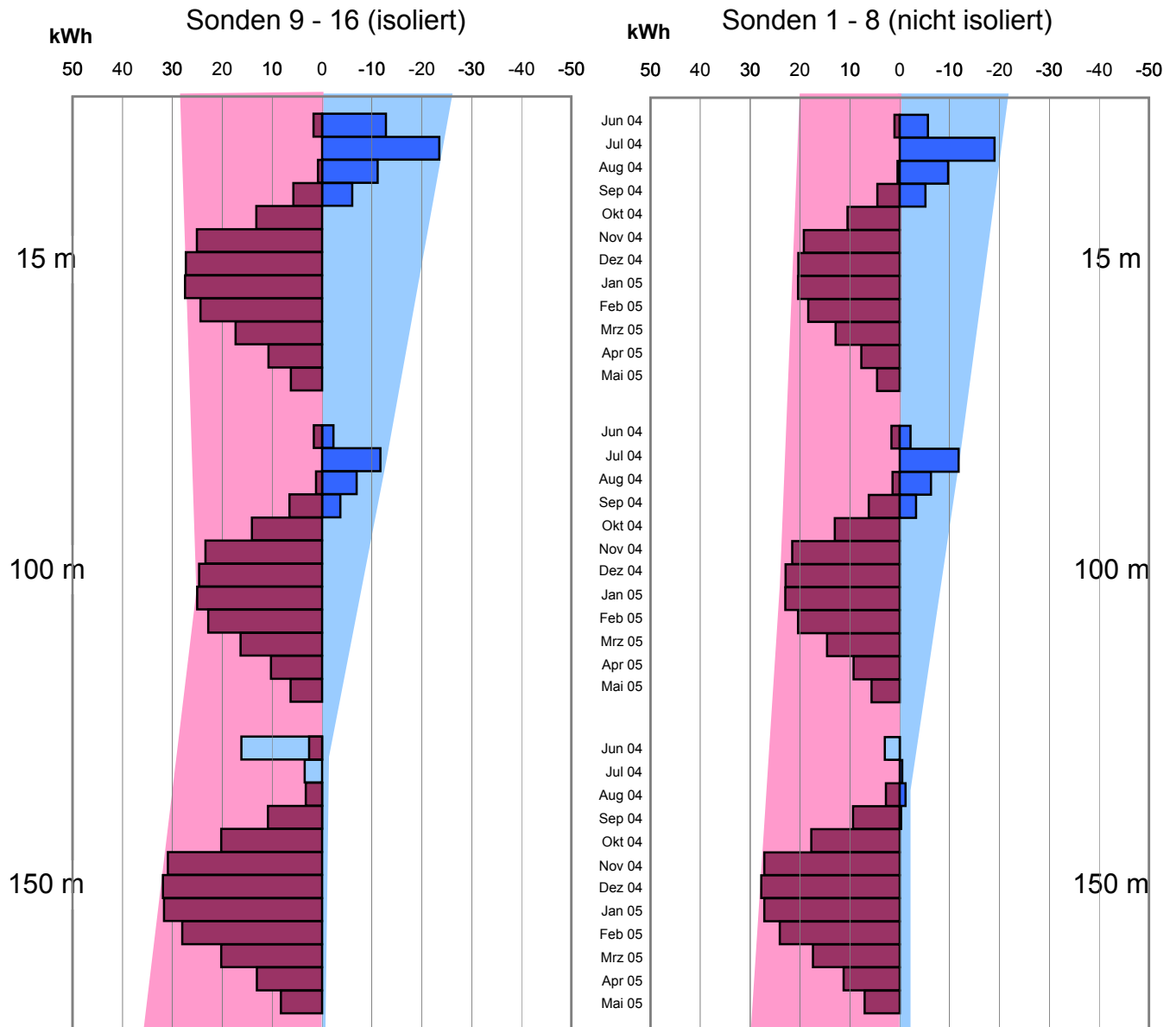
	HP Wärmeentzug
	FC Wärmerückgabe
	HP Wärmeentzug
	FC Wärmerückgabe
HP:	Heizperiode
FC:	Freecooling

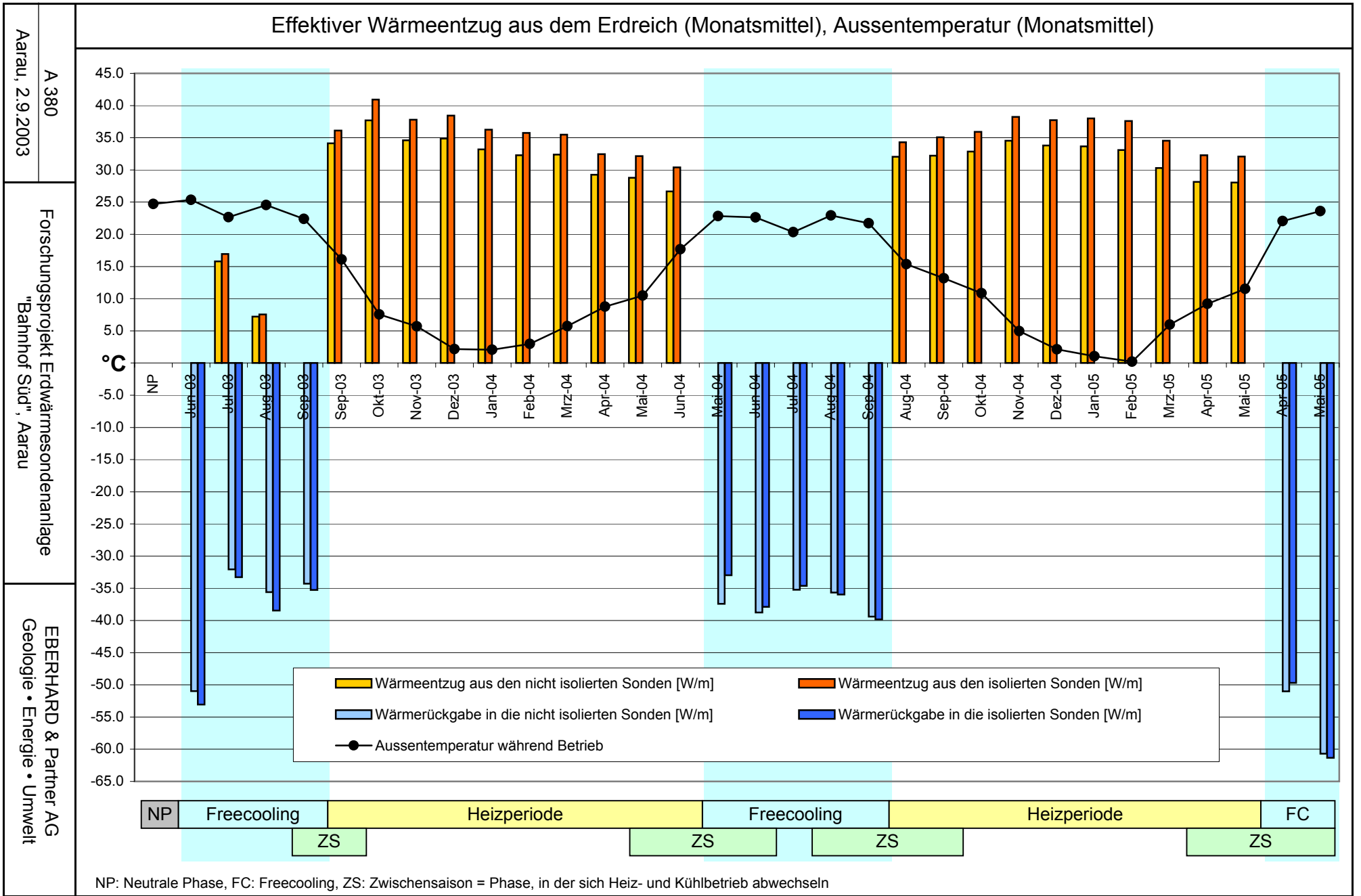


BEILAGE 34

Daraus folgt: Q ist proportional zu ΔT
Die gemessene Wärmeenergie Q verteilt sich somit auf die ganzen Sonden proportional zu ΔT und weist nebenstehende Verteilung des Wärmeentzugs und der Wärmerückgabe (aufgeteilt nach Monaten) auf.

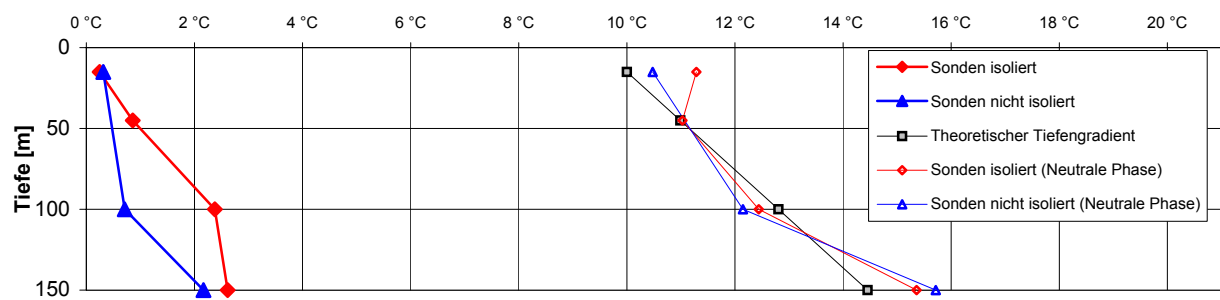
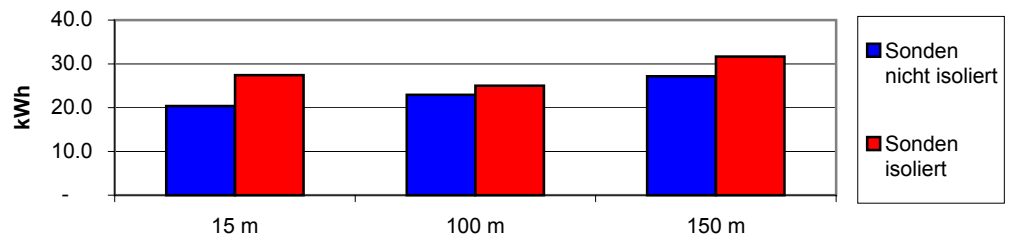
	HP Wärmeentzug
	FC Wärmerückgabe
	FC Wärmeentzug
	HP Wärmeentzug
	FC Wärmerückgabe
HP:	Heizperiode
FC:	Freecooling



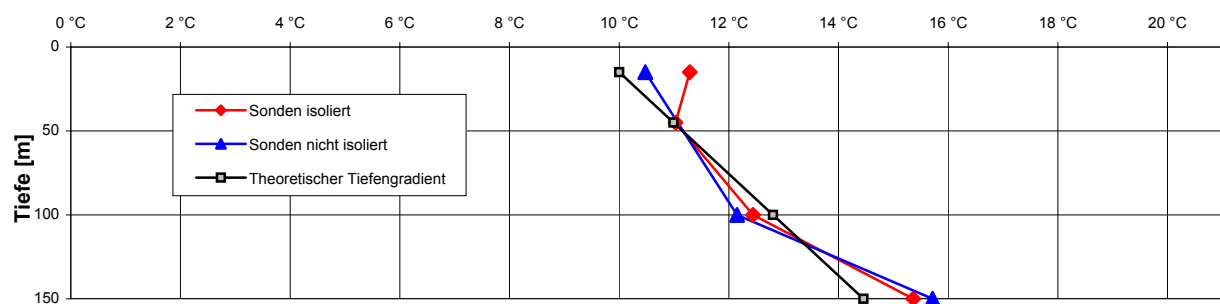


Temperaturgradient und Wärmeentnahme

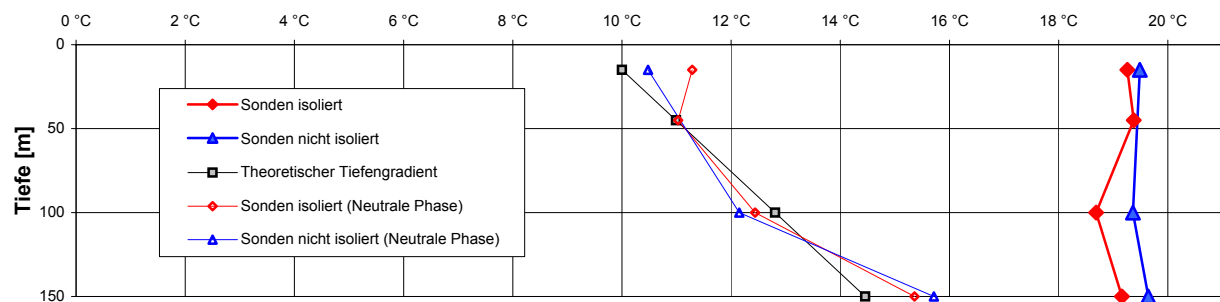
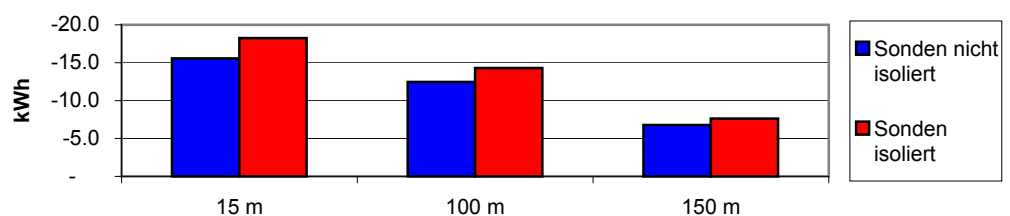
Januar 2005

Wärmeentnahme
Januar 2005

Neutrale Phase (Mai 2003)



August 2003

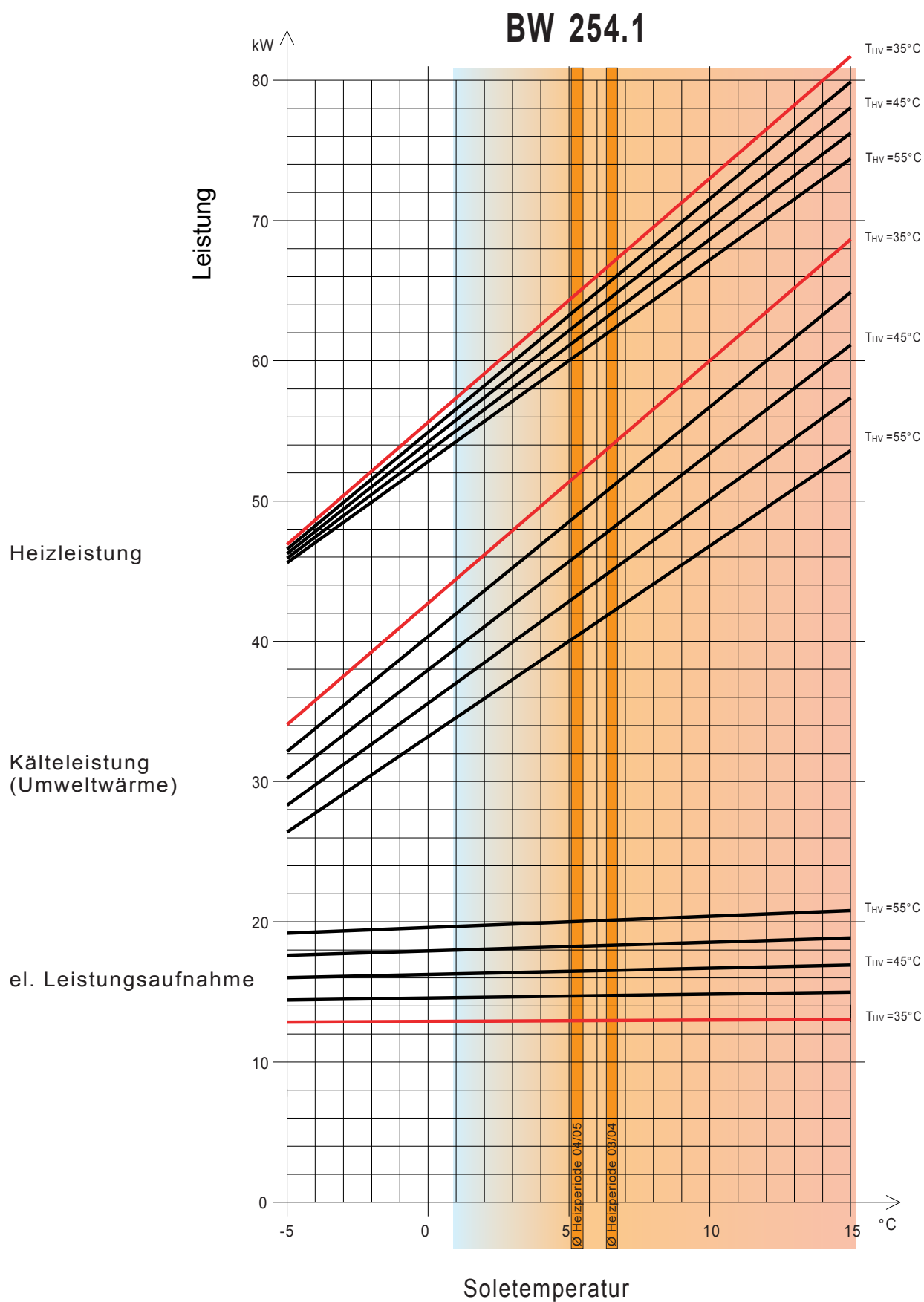
Wärmerückgabe
August 2003

A380

23.08.2005

Forschungsprojekt Erdwärmesondenanlage
"Bahnhof Süd", AarauEBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

Leistungsdiagramm der Wärmepumpe Satag BW 254.1



Quelle: SATAG THERMOTECHNIK AG

A 380

Aarau, 13.6.05

Forschungsprojekt Erdwärmesondenanlage
"Bahnhof Süd", Aarau

EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

Aarau, 23.08.2005	A 380	HEIZEN: CO ₂ Einsparung durch die Erdwärmesonde, Heizperiode							
		Erdwärmesondenanlage				Aufwand CO ₂	Eingespartes CO ₂		
		Wärmeentzug	Heizwärme	Stromaufwand	Stromproduktion	Heizölkessel		Gasheizung	
						Verbrennung	Total*	Verbrennung	Total*
		kWh	kWh	kWh	t	t	t	t	t
Forschungsprojekt Erdwärmesondenanlage "Bahnhof Süd", Aarau	Heizperiode 2003/04	344'172	418'953	96'901	0.9	114.8	125.3	83.0	87.6
	Heizperiode 2004/05	346'912	413'113	97'584	0.9	113.2	123.5	81.8	86.3
	Total bis heute	691'084	832'066	194'485	1.8	228.0	248.8	164.7	173.9
	Total* Verbrennung und Versorgungskette								
Geologie • Energie • Umwelt	Wirkungsgrad der EWS-Anlage 4.3 (JAZ) Freisetzung von CO₂ bei der Verbrennung Heizöl 274 g / kWh Gas 198 g / kWh Freisetzung von CO₂ auf der Versorgungskette Heizöl 25 g / kWh Gas 11 g / kWh Quelle: Verband der Schweizerischen Gasindustrie (VSG) Freisetzung von CO₂ bei der Stromproduktion (CH) Strom* 9.2 g / kWh * 4.4 % des schweizerischen Stroms wird in thermischen Kraftwerken (Gas) produziert. Dabei wird im Mittel 9.2 g CO₂ pro kWh Strom freigesetzt.								

Aarau, 23.08.2005	A 380	KÜHLEN: Strom und CO ₂ Einsparung durch die Erdwärmesonde, Freecooling									
		Erdwärmesondenanlage		Aufwand CO ₂	Konventionelle Kühlanlage		Eingespart				
		Abwärme	Stromaufwand	Stromproduktion	Stromaufwand	Stromproduktion					
				CO ₂		CO ₂		Strom	CO ₂		
		kWh	kWh	t	kWh	t	kWh	kWh	t		
Forschungsprojekt Erdwärmesondenanlage "Bahnhof Süd", Aarau	Sommer 2003	91'104	2'097	0.0	26'258	0.2	24'161.5		0.2		
	Sommer 2004	61'465	1'523	0.0	17'716	0.2	16'192.6		0.1		
	Total bis heute	152'569	3'620	0.0	43'974	0.4	40'354.1		0.4		
EBERHARD & Partner AG Geologie • Energie • Umwelt	Wirkungsgrad der EWS Anlage 42.1 (JAZ)		Konventionelles "aktives" Kühlgerät:								
			Kühlleistung*		45 kW						
			Leistungsaufnahme*		12.97 kW						
			kW Leistungsaufnahme pro kW Kühlleistung		0.29						
* gemäss Angaben eines Herstellers von Kühlgeräten											
Freisetzung von CO ₂ bei der Stromproduktion (CH)											
Strom** 9.2 g / kWh											
** 4.4 % des schweizerischen Stroms wird in thermischen Kraftwerken (Gas) produziert. Dabei wird im Mittel 9.2g CO ₂ pro kWh Strom freigesetzt.											

Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpenanlagen mit isolierten und
nicht isolierten Sonden in den oberen 8 m der Bohrung

Mehrkosten für die Isolation im oberen Sondenbereich (8 m UKBodenplatte)

Grösserer Bohrdurchmesser Ø 10"	6'928.00 Fr.
Isolation Tubolit, Wandstärke 20mm 8 x 8 m à Fr. 732.50	11'720.00 Fr.
Mehrkosten	18'648.00 Fr.

Stromkosteneinsparung von den isolierten im Vergleich zu den nicht isolierten Sonden

Periode Juni 2003 - Mai 2005

Sonden 1-8
nicht isoliert

Sonden 9-16
isoliert

Wärme aus Sonden ($Q_{p_{ni}} / Q_{p_i}$)	327'539 kWh	363'545 kWh
Wärme aus Sonden ($Q_p = Q_{p_{ni}} + Q_{p_i}$)	691'084 kWh	
Wärme Sekundärkreislauf (Q_s)	832'066 kWh	
Stromverbrauch (Q_e)	194'485 kWh	
Wärme pro kWh Strom ($=Q_s/Q_e$)	4.28 kWh	
Stromkosten ²⁾ (k) 0.108 Fr. pro kWh	21'034 Fr.	
Kosten pro kWh Wärme aus den Sonden ($a=k/Q_p$)	0.0304 Fr./kWh	

Wärmedifferenz der isolierten zu den nicht
isolierten Sonden ($Q_d = Q_{p_i} - Q_{p_{ni}}$)

$Q_d = 363'545 - 327'539 \text{ kWh} =$ 36'006 kWh

Wärmedifferenz pro Jahr

ca. 18'000 kWh

Kosten der nicht gewonnenen Wärme aus
den nicht isolierten Sonden

$k_d = 36'006 \text{ kWh} \times 0.0304 \text{ Fr./kWh} =$ 1'096 Fr.

Kostendifferenz pro Jahr

547.93 Fr.

Annuität

Amortisationsberechnung

Verzinsung	5%	8%
Mehraufwand für die Isolation	18'648.00 Fr.	18'648.00 Fr.
Annuität	547.93 Fr.	547.93 Fr.
Amortisationszeit	<u>20.4 Jahre</u>	<u>17.1 Jahre</u>

²⁾ berechnet mit 50% Hochtarif (13.13 Rp.) und 50% Niedertarif (8.5 Rp.). IBAarau Stand Okt. 2005