

Schlussbericht, Juni 2004

Grosswärmepumpe für Nahwärmeverbund Rebenstrasse Nord Etappe C, Arbon Erstes Betriebsjahr

Ausgearbeitet durch
Daniel Zürcher, dipl. Masch. Ing. FH
Durena AG
Sägestrasse 6
5600 Lenzburg

Dieser Bericht ist mit finanzieller Unterstützung des Bundesamtes für Energie entstanden. Für Inhalt und Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichtes verantwortlich.

1. Zusammenfassung

Die Stadtwerke Arbon AG hat das Gebiet Rebenstrasse Nord, Etappe C mit einer Grundstücksfläche von rund 30'000 m² vollumfänglich mit einem Wärmeverbund erschlossen. Als Technologie für die Wärmeerzeugung wurde eine Wärmepumpe monovalent mit Erdwärmesonden gewählt. Die Heizleistung der Wärmepumpe beträgt 340 kW. Die Wärmeerzeugung, eine erste Etappe der Erdsonden sowie die erste Etappe des Nahwärmenetzes wurde im Winter 2003 erstellt. Die erste Wärmelieferung erfolgte per Mitte April 2003.

Die grössten Schwierigkeiten bei der Realisierung des Wärmeverbundes traten beim Erstellen der Erdwärmesondenbohrungen auf. Einerseits ist die Geologie in Arbon schwierig zur Erstellung von tiefen Erdwärmesonden (geplante Tiefe war 300m), andererseits waren die Bohrbedingungen während dem Winter ungünstig. Die Geologie führte dazu, dass die Bohrungen bis maximal rund 240 m Tiefe erstellt werden konnten. In der ersten Etappe wurden rund 4 km Erdwärmesonden verlegt.

Die Erdwärmesonden bilden den grössten Anteil an den Erstellungskosten der Wärmeerzeugung. Daher wurden an den Bohrungen Messungen vorgenommen, um die im Endausbau effektiv erforderlichen Sondenlänge zu berechnen und zu optimieren. Die Resultate zeigen, dass die Wärmeleitfähigkeit des Bodens besser ist als ursprünglich angenommen.

Der Betrieb im ersten Betriebsjahr zeigte, dass die Konzeption der Heizzentrale mit einer stufenlos modulierenden Wärmepumpe für diesen Fall mit einer starken Etappierung der Wärmebezügerleistung, richtig gewählt wurde. An der Wärmepumpe selber traten in den ersten Betriebsjahr, abgesehen von den üblichen Einstellungen während der Inbetriebnahme, keine Störungen auf. Die einzigen Störungen am System waren durch Vandalenakte an den Erdsonden verursacht. Ansonsten lief die Anlage sehr zuverlässig und sowohl der Betreiber als auch die Wärmebezüger sind sehr zufrieden.

Eine energetische Auswertung für das erste Betriebsjahr zeigt folgendes Ergebnis:

- Anschlussleistung per Ende 2003: 97 kW
- Anzahl angeschlossener Objekte: 10
- Gelieferte Wärmeenergiemenge: 187 MWh
- Elektrischer Energiebedarf des gesamten Verbundes: 57.3 MWh
- Durchschnittliche JAZ der Wärmepumpe: 3.9
- Durchschnittliche JAZ des gesamten Verbundes: 3.3

Die JAZ_{WP} war im ersten Betriebsjahr unter den Erwartungen, weil einerseits die Inbetriebnahme und Einregulierung mit nur 4 Anschlüssen (28 kW Anschlussleistung) erfolgte und dies entsprechende Wärmeverluste zur Folge hatte, andererseits die Vorlauftemperaturen gegenüber der Auslegung wegen den Verlusten und höheren Bezugsleistungen (Austrocknung der Häuser im ersten Jahr) bis zu 5K erhöht werden mussten. Wie die detaillierte Auswertung zeigt, verbesserte sich der JAZ_{WP} zeitweise bis auf 4.4, resp. die $JAZ_{Verbund}$ bis auf 3.7 mit der zunehmenden Anzahl der Anschlüsse. Mit einer normaler Heizkurveneinstellung und höherer Bezugsdichte kann eine Jahresarbeitszahl des Verbundes von 4.0 erreicht werden.

1.1 Abstract

The Stadtwerke Arbon Ltd. have been supplying the district of Rebenstrasse Nord, Etappe C, since spring 2003 with a district heating system. This is an area covering 30'000 m².

The technology within the heating production consists of a ground source heat pump (GSHP). Energy is obtained by using a 19- bore-hole heat exchanger totalling 4 km in length in its first stage. The heat production is designed to reach a capacity of a total of 340 kW thermal power by the final stage, and the bore-hole heat exchanger will total a length of 5.5 km. The heat pump is built in modulation mode in order to enable the performance to steplessly adjust to the level of development of the district.

The first heat supply took place in the middle of April 2003. The experience of the first operational year shows that the system of the ground source heat pump is working perfectly. There are no problems and there have been no break downs. The expenditure for operation and maintenance of this district heating system was very low due to the proven heat production technique by using a ground source heat pump and bore-hole exchangers.

An energy-evaluation for the first operational year shows the following results:

- *Connected load by the end of 2003:* 97 kW
- *Number of attached buildings:* 10
- *Quantity of supplied heat energy:* 187 MWh
- *Electrical power requirement of the entire system:* 57,3 MWh
- *Seasonal performance factor (SPF) of the heat pump:* 3.9
- *Seasonal performance factor (SPF) of the entire system:* 3.3

As a conclusion, it can be stated that the heat plant und district heating system works according to expectation. There is some potential to optimize the seasonal performance factor (SPF) in order to enable the SPF to reach the anticipated value of 4.0.

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	2
1.1 Abstract	3
2. Konzept	5
2.1 Ausgangslage	5
2.2 Auslegungsgrundlagen	5
2.3 Ausbauetappen Nahwärmeverbund	6
2.4 Wärmeerzeugung	6
2.4.1 Wärmepumpe	6
2.4.2 Erdsondenfeld	7
2.4.3 Umwälzpumpenstation	7
2.5 Wärmeverteilung	8
3. Realisations- / Betriebserfahrung	9
3.1 Generell / Bauprogramm	9
3.2 Erdsondenbohrung	9
3.3 Heizzentrale	10
3.4 Nahwärmenetz	10
3.5 Betrieb erstes Betriebsjahr vom Mitte April 2003 bis Mitte April 2004	10
4. Energetische Auswertungen erstes Betriebsjahr	12
4.1 Ziel der Auswertung	12
4.2 Vorgehen der Erfassung und Definition der Messwerte	12
4.3 Berechnungsgrundlagen	13
4.4 Auswertung und Analyse	14
4.4.1 Jahresauswertung	14
4.4.2 Monatsauswertung	16
4.4.3 Auswertung einer ausgewählten Periode	17
4.5 Folgerungen und Optimierungsmassnahmen	18
5. Investitionskosten	19
6. Anhang	20
6.1 Fotos der Heizzentrale	20
6.2 Übersichtsplan	20
6.3 Hydraulisches Schema	20
6.4 Geologische Profil der Voruntersuchung	20
6.5 Aufgenommenes Profil einer Bohrung	20
6.6 Temperaturprofil dieser Sonde	20
6.7 Betriebsprotokoll	20
6.8 Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	32

2. Konzept

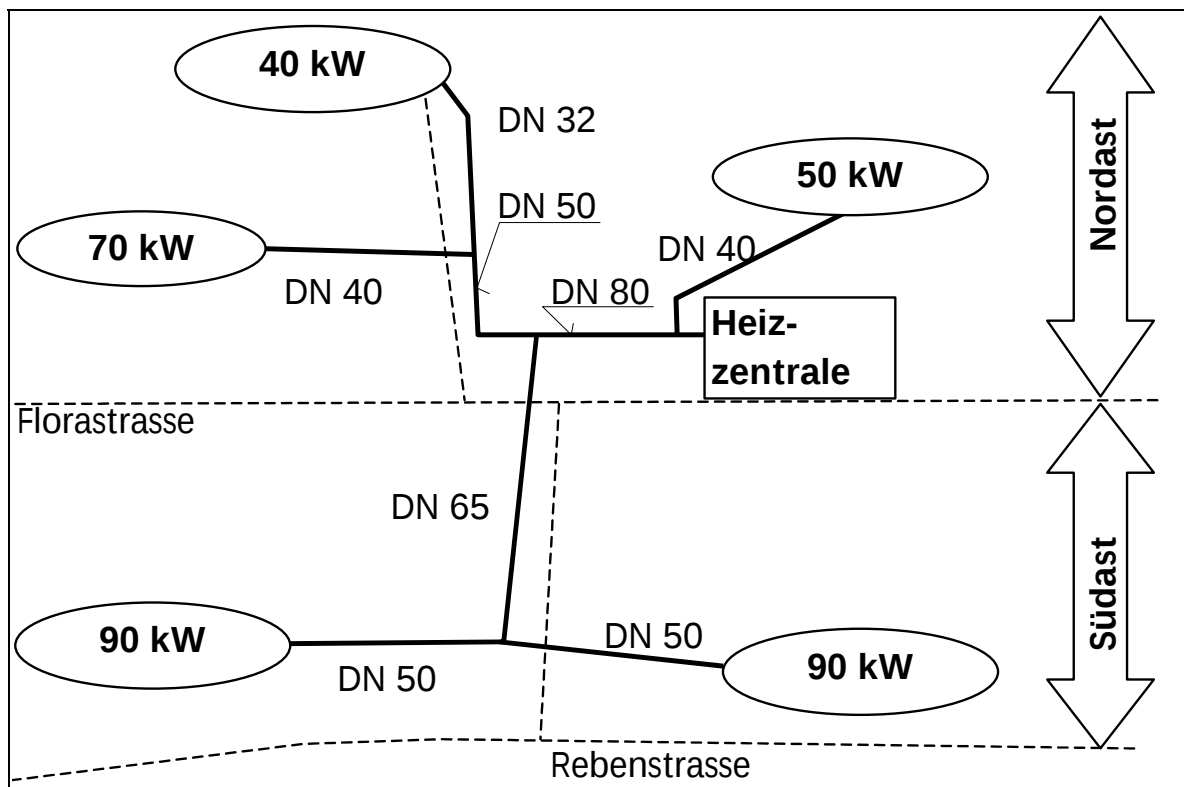
2.1 Ausgangslage

Die Stadtwerke Arbon AG hat das Gebiet Rebenstrasse Nord, Etappe C mit einer Grundstücksfläche von rund 30'000 m² vollumfänglich mit einem Wärmeverbund erschlossen. Als Technologie für die Wärmeerzeugung wurde eine Wärmepumpe monovalent mit Erdwärmesonden gewählt.

Das Gebiet Rebenstr. Nord Etappe C wurde 2002/2003 mit den ersten Einfamilienhäusern überbaut und teilweise erschlossen. Die Überbauung erfolgt sukzessive und individuell. Es sind Einfamilienhäuser sowie kleinere Mehrfamilienhäuser geplant.

2.2 Auslegungsgrundlagen

Für das gesamte Baugebiet wurde die Heizleistung mit 340 kW ermittelt. Die Heizleistung verteilt sich auf einen Nordast mit 160 kW und einen Südast mit 180 kW Heizleistung.



Abbildung/Tabelle 1: Prinzipschema des Nahwärmeverbundes mit Anschlussleistungen

2.3 Ausbautappen Nahwärmeverbund

Die Überbauungsgeschwindigkeit ist schwierig abzuschätzen. Aufgrund der attraktiven Wohnlage kann jedoch davon ausgegangen werden, dass das Gebiet bis 2008 vollständig überbaut ist.

Etappierung	Anzahl Gebäude	Wärmeleistung	Leistung Nordost	Leistung Südost	Energie-menge
per Ende 2003 ¹	10	97 kW	73 kW	24 kW	187 MWh/a
per Ende 2004 ²	20	177 kW	93 kW	84 kW	336 MWh/a
Gesamt-NWV ³	39	340 kW	180 kW	160 kW	612 MWh/a

Abbildung/Tabelle 2: Anschlussleistung und Ausbautappen Nahwärmeverbund

Ein Übersichtsplan mit den gebauten und im Bau befindlichen Gebäuden ist im Anhang (Anhang 6.1) enthalten.

2.4 Wärmeerzeugung

Die Wärmeerzeugung ist als monovalente Wärmepumpenlage mit Erdsonden konzipiert. Die Heizzentrale besteht aus folgenden Komponenten:

2.4.1 Wärmepumpe

Es ist eine mittels Frequenzsteuerung der Schraubenkompressoren stufenlos regulierbare Wärmepumpe mit zwei Kältekreisen eingebaut. Die Wärmepumpe ist auf die Endausbauleistung dimensioniert. Die Wärmepumpe regelt und steuert mit einer eigenen SPS alle zum System gehörenden Aggregate wie: Solepumpe, Speicherladepumpe, Speicherladetemperaturen mittels Kondensationsdruckregelung etc.

Um den voraussichtlich geringen Wärmebedarf in den Übergangszeiten abzudecken, und um Mindestlaufzeiten der Wärmepumpe zu ermöglichen, wurde ein technischer Wärmespeicher eingebaut:

Technische Daten Wärmepumpe	
Kälteleistung	2 x 130 kW
Kondensationsleistung	340 kW
Regelbereich (stufenlos)	25% - 100 %
Auslegungstemperaturen Sole:	8°C / 4°C
Leistungsaufnahme	2 x 39.9 kW

¹ Ist-Werte erstes Betriebsjahr (April 2003 – März 2004)

² Mutmassliche Werte, Planungsstand Ende Juni 2004

³ Auslegungswerte Wärmeverbund gemäss Projektierung 2002

Technische Daten Wärmepumpe	
Betriebsstrom	2 x 76 A
Anlaufstrom (mit FU)	je 115 A
Blockierstrom	je 485 A
Anschluss	400-3-50 V/Ph/Hz
Kältemittel	R-134a
Anzahl Kältekreise	2
Gewicht	2700 kg
Technische Daten Wärmespeicher	
Speichergrösse	7.2 m ³
Speichervermögen (dT= 10K)	80 kWh

Abbildung/Tabelle 3: Technischen Daten der Wärmepumpe

2.4.2 Erdsondenfeld

Für die Erdsondenbohrung wurde ein geologisches Gutachten erstellt und die Berechnung der erforderlichen Sondenlänge aufgrund von Erfahrungswerten durchgeführt. Es war vorgesehen, von der ersten Bohrung ein Temperaturprofil aufzunehmen und Messung der Wärmeleitfähigkeit der verschiedenen Schichten durchzuführen. Aufgrund dieser Daten kann die Auslegung des Erdsondenfeldes angepasst werden.

Gemäss Bericht „Dimensionierung einer Erdwärmesonden-Anlage“ (EWDS-171) sowie dem Konzept vom 1. März 2002 und der Vergleich über die Erdsondentiefe vom 18.04.2002 werden im Endausbau rund 5700 Sondenmeter erforderlich sein. Es wurde eine Bohrtiefe von rund 285 m vorgeschlagen, was 20 Sonden ergibt.

Aufgrund der nicht genau voraussehbaren Etappierung, und um nicht zuviel Kapital zu binden war vorgesehen, dass nur rund 50% der Bohrmeter in einer ersten Etappe realisiert werden.

2.4.3 Umwälzpumpenstation

Nahwärmepumpe:

Es wird eine Trockenläufer-Kreiselpumpe in Inline-Bauform eingesetzt. Die Leistung der Pumpe wird mit Frequenzumrichter drehzahl geregelt.

Die Pumpen werden auf ein max. dT von 10K bei voller Wärmeleistung von 340 kW ausgelegt.

Technische Daten Nahwärmepumpe	
Auslegungsförderleistung (Endausbau)	29 m ³ /h
Auslegungsförderhöhe (Endausbau)	110 kPa

Abbildung/Tabelle 4: Technische Daten Umwälzpumpe

Regulierung: Die Regelung erfolgt auf den Differenzdruck über der Pumpe. Dabei wird auf eine Regelung mit einem Netzschlechtepunkt verzichtet. Der Differenzdruck über die Pumpe wird in Abhängigkeit der Menge geregelt (Proportionaldruckregelung).

Speicherpumpe:

Für den Speicherkreislauf wird eine Inline-Pumpe mit Frequenzumrichter und Drehzahlregulierung gem. Angaben WP-Lieferant vorgesehen.

Sondenpumpe:

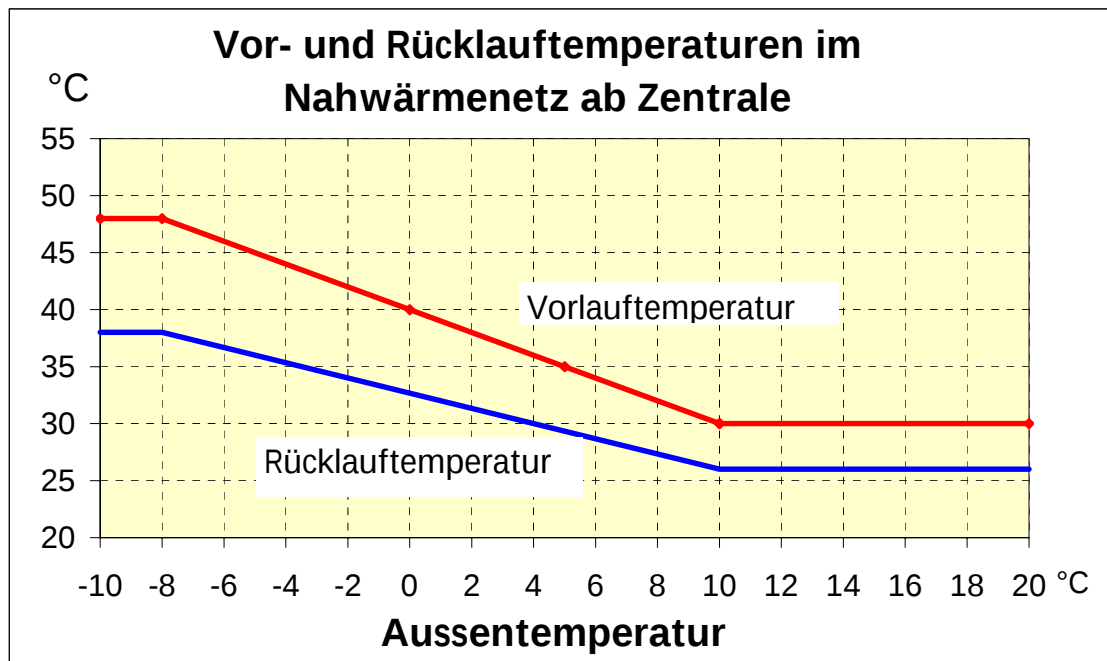
Je Kältekreis wird eine Sondenpumpe, insgesamt also 2 Pumpen mit konstanter Drehzahl vorgesehen.

Das hydraulische Schema der Heizzentrale befindet sich in Anhang (Anhang 6.3).

2.5 Wärmeverteilung

Die Wärmeverteilung zu den einzelnen Häusern erfolgt mit einem erdverlegten Verteilnetz. Dabei werden vorisolierte Stahlrohre mit Kunststoffmantel (KMR) sowie bei den Hausanschlüssen zum Teil flexible Kunststoffrohre (Calpex) eingesetzt. Die einzelnen Anschlüsse sind mit Ausnahme von Mehrfamilienhäusern direkt an das Nahwärmeverteilnetz angebunden, d.h. es ist keine hydraulische Trennung vorhanden. Dieses System hat vor allem Vorteile auf der Kostenseite, entfallen beim Wärmebezüger doch sämtliche Installationen wie Heizungspumpe und Expansionsanlage. Ein weiterer Vorteil ist, dass keine Temperaturverluste durch Wärmetauscher entstehen, was insbesondere bei Wärmepumpenanlagen wichtig ist, da diese mit möglichst tiefen Vorlauftemperaturen betrieben werden sollen. Zusätzlich werden sämtliche Energien durch die Zentrale geliefert, so für die interne Umwälzung des Heizwassers (direkter Anschluss) und auch für die Regulierung durch Anschluss und Versorgung via Bus-System. Die so ermittelte Jahresarbeitszahl berücksichtigt also auch diese Verbraucher.

Die Vorlauftemperatur beträgt max. 45°C beim Bezüger (bei –8°C Aussentemperatur). Die Regulierung in der Zentrale erfolgt gleitend nach Aussentemperatur, gemäss folgender Kurve:



Abbildung/Tabelle 5: Vor- und Rücklauftemperaturen des Nahwärmenetzes ab Zentrale

Die Bezugsmengen können über ein zentrales Auslesesystem erfasst und verrechnet werden, es ist kein Zutritt zur Wohnung notwendig.

3. Realisations- / Betriebserfahrung

3.1 Generell / Bauprogramm

Die Einsprache eines künftigen Anwohners betreffend die Heizzentrale mit Trafostation verzögerte das ganze Projekt um rund 4 Monate. Dies hatte zur Folge, dass die Erdsondenbohrarbeiten und der Fernwärmeleitungsbau in die ungünstigen Wintermonate fielen, d.h. Bohrbeginn war erst Ende November 2002. Die kalte Periode in der zweiten Hälfte Januar 2003 bis Mitte Februar 2003 hatte praktisch eine Baueinstellung zur Folge, was eine weitere Verzögerung verursachte. Der Inbetriebnahmetermin für die ersten Wärmebezügler war somit erst Mitte April 2003, anstatt wie vorgesehen Anfangs Dezember 2002.

3.2 Erdsondenbohrung

Die vorgesehene Erdsondentiefe von 285m wurde nicht erreicht. Der Übergang von Kies/Ton in die Felsgesteine der oberen Süsswassermolasse (Sandstein/Mergel) verursachte mit dem gewählten Spülbohrverfahren Schwierigkeiten. Um im Fels weiterbohren zu können, hätte die ganze Bohrung verrohrt werden sollen, um auf das Schlagbohrverfahren umstellen zu können, was aber mit hohen Mehrkosten verbunden gewesen wäre. Die Bohrungen erreichten so eine Tiefe von 210 bis 240 m.

Weitere Probleme verursachte die schwierige Geologie. In Arbon waren bisher nur Erdsonden im Bereich bis max. 150m Tiefe gebohrt worden. In einer Tiefe von rund 90 – 120 m ist siltiger Ton und von 120 bis 135 m stark silthaltiger toniger Kies mit reichlich Sand anzutreffen. Dies hatte zur Folge, dass die Bohrung mit starker Spülung zwar erstellt werden konnte, diese jedoch schnell wieder zuging, da das Material zum fließen neigte. Die Sonden konnten, wenn überhaupt, nur mit grossen Aufwand eingebracht werden. Mehrmals mussten die Sonden wieder herausgezogen werden, was nicht immer gelang, weil die Sonden festsaßen, um die Bohrung nachzubohren. Dies verursachte zusätzliche Verzögerung. Terminlich hatte dies Konsequenzen, da die ganze Sondenerstellung nicht wie vorgesehen 8 Wochen sondern ca. 20 Wochen dauerte. Allerdings wurden in der ersten Etappe auch rund 40% mehr Sondenmeter realisiert.

Ein geologisches Profil der Voruntersuchung, sowie das aufgenommene Profil einer Bohrung ist im Anhang (Anhang 6.4 und Anhang 6.5) ersichtlich. An dieser Sonde wurde auch das Temperaturprofil aufgenommen und ausgewertet, und Messungen der Wärmeleitfähigkeit der einzelnen Schichten durchgeführt (Anhang 6.6). Diese Messung diente als Basis für die Dimensionierung im Endausbau. Dabei zeigte sich, dass die spezifische Leitfähigkeit höher ist als ursprünglich angenommen und damit eine verbesserte spezifische Entnahmeleistung resultiert. Für die Dimensionierung der Umwälzpumpen ist zu beachten, dass in den Sonden eine turbulente Strömung herrscht. Die Berechnungen wurden durch den beauftragten Geologen, Dr. U. Schärli, Zürich, mit dem Programm Earth Energy Designer (EED) durchgeführt. Durch diese Optimierungsmassnahme konnten für den Endausbau die erforderliche Sondenlänge um 200 m auf rund 5500 m Sonden reduziert werden. Eine Übersicht der spezifischen Kennwerte ist in der Abbildung/Tabelle 6 dargestellt.

Da die vorgesehene Bohrtiefe von 285m nicht erreicht wurde, müssen nun im Endausbau mehr Sonden als die ursprünglich geplanten 20 Sonden eingebracht werden. Da bereits die Hupterschliessung des Nahwärmenetzes gebaut wurde, hat der Bauherr entschieden, entlang dieses Netzes weitere Bohrungen bereits in einer ersten Etappe zu realisieren. Damit konnten nun bereits rund 75% der erforderlichen Sondenlänge realisiert werden. Eine weitere Bohretappe für den Endausbau wird zur Zeit erstellt, da bei den vorgesehenen Standorten nun Projekte für die Überbauung in Arbeit sind. Eine spätere Sondenerstellung, mitten in den bebauten Gebieten, wäre kaum mehr möglich gewesen.

	Anzahl Sonden (-)	Bohrtiefe (m)	Erdsonden- länge Total (m)	Spez. Entzugsleistun- g (W/m)	Spez. Entzugsenergie (kWh/a/m)
Auslegung	20	285	5700	45.8	82.4
1. Etappe ⁴	19	213.7	4061	17.8	34.2
Endausbau	25	220	5500	47.4	85.4

Abbildung/Tabelle 6: Eckdaten der Erdsondenbohrungen

3.3 Heizzentrale

Die Montage der Heizzentrale erfolgte gemäss Terminprogramm.

3.4 Nahwärmenetz

Der Bau des Nahwärmenetz war mit grossem Aufwand verbunden, da die Leitungen teilweise durch die Grundstücke der verschiedenen Eigentümern führte und mit diesen die Bauprogramme koordiniert werden musste. Da die in der ersten Etappe realisierten Anschlüsse alles Einzelobjekte waren, gab es hierzu eine Verzögerung. Die vorgesehenen Leitungstrassen konnten nicht wie terminlich vorgesehen gebaut werden, da diese mit anderen Installationen belegt waren.

3.5 Betrieb erstes Betriebsjahr vom Mitte April 2003 bis Mitte April 2004

Wärmeerzeugung:

Im ersten Betriebsjahr traten in der Heizzentrale keine wesentliche Störungen auf. Die normalen Inbetriebnahmenprobleme in Zusammenhang mit Sondenanlagen waren für nur kurzzeitige Ausfälle der Wärmepumpe verantwortlich. Da jedoch die Anlage mit einem Wärmespeicher ausgerüstet ist, hatten diese Ausfälle keine Auswirkungen auf die Wärmebezüger. Einzig bei den Sonden traten immer wieder unerklärliche Verluste auf. Die Vermutung war, dass eine Sonde, trotz durchgeführten Druckprüfungen, undicht waren. Bereits war alles vorbereitet, um jede einzelne Sonden einer zusätzlichen Druckprüfung zu unterziehen. Ein Angestellter der Stadtwerke sah jedoch, wie spielende Kinder die Schächte bei den Sondenentlüftungen öffneten und an den Entlüftungsventilen manipulierten. Die Schachtdeckel dieser Sonden wurden nun fest verschraubt und so vor unbeabsichtigter Manipulation geschützt. Seither waren keine Verluste mehr im Kältekreislauf feststellbar. Die ganze Angelegenheit mündete in einer Strafanzeige, da der Schaden alleine durch die Verluste an Frostschutzmittel (Antifrogen N) einige Tausend Franken betrugen.

Wärmeverteilung/Wärmebezüger:

Im Wärmeverbund bei den Wärmebezügern traten jedoch vereinzelte Störungen auf:

- Problem/Störung:

⁴ Spezifische Entzugsleistung aufgrund der Ist-Werte erstes Betriebsjahr ermittelt

Ursache:

Aufgrund des direkten Anschluss der Häuser an den Wärmeverbund, ist eine sorgfältige Entlüftung aller Bauetappen notwendig. Dies erfolgte nicht immer mit der nötigen Sorgfalt und Intensität, so dass die Störungen auftraten.

Abhilfemassnahme:

Zukünftig indirekte Anschlüsse mit Systemtrennung bei kritischen Bezügern (d.h. an den Netzhochpunkten) vorsehen. Separate Entlüftungsmöglichkeit im Primärnetz vorsehen.

- Problem/Störung:

Wassermangel im Netz dadurch Ausfall der Wärmeerzeugung

Ursache:

Aufgrund des direkten Anschluss der Häuser an den Wärmeverbund wurden die Heizungen der Bezüger teilweise mit dem Netzwasser befüllt, obwohl dies gemäss Anschlussvorschriften nicht gestattet ist.

Abhilfemassnahme:

Automatische Wassernachspeisung in der Wärmeerzeugung wurde nachgerüstet.

- Problem/Störung:

Reklamationen der Bewohner, es sei zu kalt in den Wohnungen;

Ursache:

Das Empfinden der Bewohner ist sehr unterschiedlich. Einige Bewohner reklamieren bei Temperaturen von 23°C in den Wohnräumen. Tatsache ist jedoch, dass der Energienachweis und somit die Leistungsbestimmung mit Raumtemperaturen von 20°C/22°C erstellt wird. Die Bodenheizung wird auch auf diese Temperatur ausgelegt, somit ist die Bodenheizung gar nicht in der Lage, bei gleichbleibenden Vorlauftemperaturen, die gewünschten Raumtemperaturen von 24-25°C zu erreichen. Zudem ist im ersten Jahr infolge Feuchtigkeit in den Häusern der Wärme- und Leistungsbedarf erfahrungsgemäss für die Austrocknung höher.

Der Volumenstrom der Bezüger wurde mittels STAD und Differenzdruckregel auf die abonnierte und ausgelegte Leistung eingestellt. Somit können die Bezüger nicht einfach eine höhere Leistung beziehen, obwohl dies von der Wärmeerzeugung problemlos möglich ist.

Abhilfemassnahme:

Die Stadtwerke Arbon haben die Netztemperaturen durch eine Parallelverschiebung der Heizkurve um bis 5°C angehoben, um so bei gleichbleibendem Durchfluss eine höhere Leistung abgeben zu können. Dies hat natürlich eine wesentlich schlechtere JAZ zur Folge. Eine Anhebung der Vorlauftemperatur um 1°C vermindert die JAZ um rund 0.15.

4. Energetische Auswertungen erstes Betriebsjahr

4.1 Ziel der Auswertung

Mit den Auswertungen soll die Effizienz der Wärmepumpenanlagen nachgewiesen werden. Zudem sind die Auslegungs- und die Dimensionierungsgrundlagen zu verifizieren.

4.2 Vorgehen der Erfassung und Definition der Messwerte

Für die Erfassung der Messwerte wurde ein Betriebsprotokoll (Anhang 6.7) erstellt, wo periodisch die wichtigsten Werte durch das Personal der Stadtwerke Arbon abgelesen und erfasst werden. Die Aufschreibungen erfolgen in der Regel wöchentlich. Folgende Werte werden erfasst:

Nr	Anlagenteil	Bezeichnung	Messgerät	Einheit	Grundlage für
1	Wärmepumpe	Betriebsstunden Kompressor 1	SPS Wärmepumpe	(h)	Laufzeit, Belastung, durchschnittliche Wärmeleistung
2	Wärmepumpe	Betriebsstunden Kompressor 2	SPS Wärmepumpe	(h)	
3	Wärmepumpe	Anzahl Starts Kompr. 1	SPS Wärmepumpe	(-)	
4	Wärmepumpe	Anzahl Starts Kompr. 2	SPS Wärmepumpe	(-)	
5	Anlage	Elektrischer Bezug NT und HT	Elektrozähler geeicht	kWh	Ermittlung JAZ_{WP} und $JAZ_{Verbund}$
6	Anlage	Wärmelieferung ins Netz	Wärmezähler geeicht	kWh	Ermittlung JAZ_{WP} und $JAZ_{Verbund}$
7	Umwälzpumpe Nahwärmenetz	Stromverbrauch	Zähler auf Frequenzumrichter	kWh	Ermittlung JAZ_{WP}
8	Umwälzpumpe Nahwärmenetz	Betriebsstunden	Zähler auf Frequenzumrichter	(h)	Ermittlung JAZ_{WP}
9	Sole ⁵	Temperaturen Ein/Austritt	SPS Wärmepumpe	(°C)	Vergleich JAZ_{WP}
10	Speicher	Temperaturen oben/unten	SPS Wärmepumpe	(°C)	Vergleich mit Auslegung
11	Nahwärmenetz	Vorlauftemperatur	Nahwärmenetz-regler; örtl. Anzeige	(°C)	Vergleich mit Auslegung
12	Anlage	Aussentemperatur	Nahwärmenetz-regler;	(°C)	Vergleich mit Auslegung

Abbildung/Tabelle 7: Definition der Messwerte

Auf eine separate Erfassung und Auswertung der Sondentemperaturen wurde verzichtet, da aufgrund der geringen Sondenbelastung keine Aussagen im Hinblick auf die Dimensionierung gemacht werden können. Ebenso war während der ganzen Zeit kein dauernder Wärmepumpenbetrieb möglich, so dass eine Auswertung des Betriebes der Wärmepumpe nicht möglich war.

⁵ Diese Temperaturen werden nur abgelesen, wenn die Anlage auch in Betrieb ist

4.3 Berechnungsgrundlagen

Ermittlung JAZ_{WP}:

$$\text{JAZ}_{\text{WP}} = \frac{E_{\text{W}}}{E_{\text{Ele, WP}}}$$

$$E_{\text{El, WP}} = E_{\text{Total, GA}} - E_{\text{Ele, Hb}}$$

$$E_{\text{Ele, Hb}} = E_{\text{El, Netzpumpe}} + E_{\text{Ele, Sole}} + E_{\text{Ele, Speicher}} + E_{\text{Ele, Div}}$$

$$E_{\text{Ele, Sole}} = P_{\text{Ele, Sole}} \times \text{Bh}_{\text{WP}}$$

$$E_{\text{Ele, Speicher}} = P_{\text{Ele, Speicher}} \times \text{Bh}_{\text{WP}}$$

$$E_{\text{Ele, Div}} = P_{\text{Ele, Div}} \times \text{Bh}_{\text{Anlage}}$$

Ermittlung JAZ:

$$\text{JAZ} = \frac{E_{\text{W}}}{E_{\text{Total, GA}}}$$

wobei: E_{W}	gelieferte Wärmeenergie gemäss Wärmezähler (4.2, 6)
$E_{\text{El, WP}}$	Elektro-Energiebezug der Wärmepumpe
$E_{\text{Total, GA}}$	Total Elektro-Energiebezug Gesamtanlage (4.2, 5)
$E_{\text{El, Hb}}$	Elektro-Energiebezug der Hilfsbetriebe
$E_{\text{El, Netzpumpe}}$	Elektro-Energiebezug der Nahwärmenetzpumpe (4.2, 7)
$E_{\text{Ele, Sole}}$	Elektro-Energiebezug der Speicherladepumpe
$E_{\text{Ele, Speicher}}$	Elektro-Energiebezug der Speicherladepumpe
$E_{\text{Ele, Div}}$	Elektro-Energiebezug Diverse Komponenten und Steuerung
$P_{\text{Ele, Sole}}$	Bezugsleistung Solepumpe
Bh_{WP}	Betriebsstunden der Wärmepumpe (je Kompressor, 4.2, 1+2)
$P_{\text{Ele, Speicher}}$	Bezugsleistung Speicherladepumpe
$P_{\text{Ele, Div}}$	Bezugsleistung Diverse Komponenten und Steuerung = 0.15 kW abgeschätzt
$\text{Bh}_{\text{Anlage}}$	Betriebsstunden der Wärmepumpe (je Kompressor, 4.2, 8)

Leistungsdaten Nebenantriebe:

Bezeichnung	Leistung	Datenquelle
Solepumpe	2.7 kW	Datenblatt Umwälzpumpe, Pumpenkennlinie
Speicherladepumpe	0.6 kW	Datenblatt Umwälzpumpe, Pumpenkennlinie
Ventilantriebe, Steuerung	0.15 kW	abgeschätzt

Abbildung/Tabelle 8: Leistungsdaten Nebenantriebe

4.4 Auswertung und Analyse

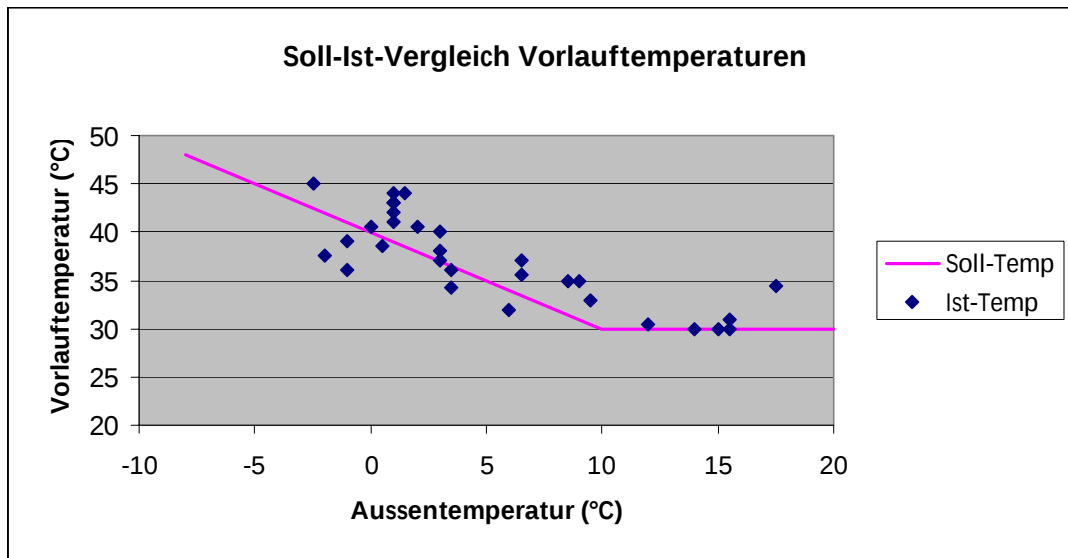
4.4.1 Jahresauswertung

Es wird die Periode ab Inbetriebnahme des Wärmeverbundes (Mitte April 2003) bis 16. April 2004 ausgewertet.

	Einheit	Ist-Wert	Auslegung	Abweichung
Energiemenge E_w	MWh	186.9	174	+7.4%
Anschlussleistungen der Wärmebezüger	kW	97	97	-
Volllaststunden	h/a	1920	1800	+ 7%
JAZ Wärmeverbund	-	3.3	4.0	-17.5%
JAZ Wärmepumpe	-	3.9	4.3	-9.3%
Betriebsstunden Wärmepumpe	h	1298	-	-
Betriebsstunden Wärmeverbund	h	6772	6500	+4.2%
Durchschnittliche Leistung der WP	kW	144	-	-
Anzahl Starts der WP	-	1689	-	-
Durchschnittliche Laufzeit der WP	min	46	-	-

Abbildung/Tabelle 9: Auswertung erstes Betriebsjahr und Soll-Ist-Vergleich

Die Auswertung zeigt den höheren Energiebezug, was sich auch in einer höheren Volllaststundenzahl in Bezug auf die Anschlussleistung widerspiegelt. Die Gründe hierfür sind bereits im Kapitel 3.5 beschrieben worden. Die effektiv bis zu 5K höheren Vorlauftemperaturen ab Heizzentrale als gemäss Auslegung vorgesehen (--> Abbildung/Tabelle 10: Soll-Ist-Vergleich Vorlauftemperatur) führte zu einer geringeren JAZ.



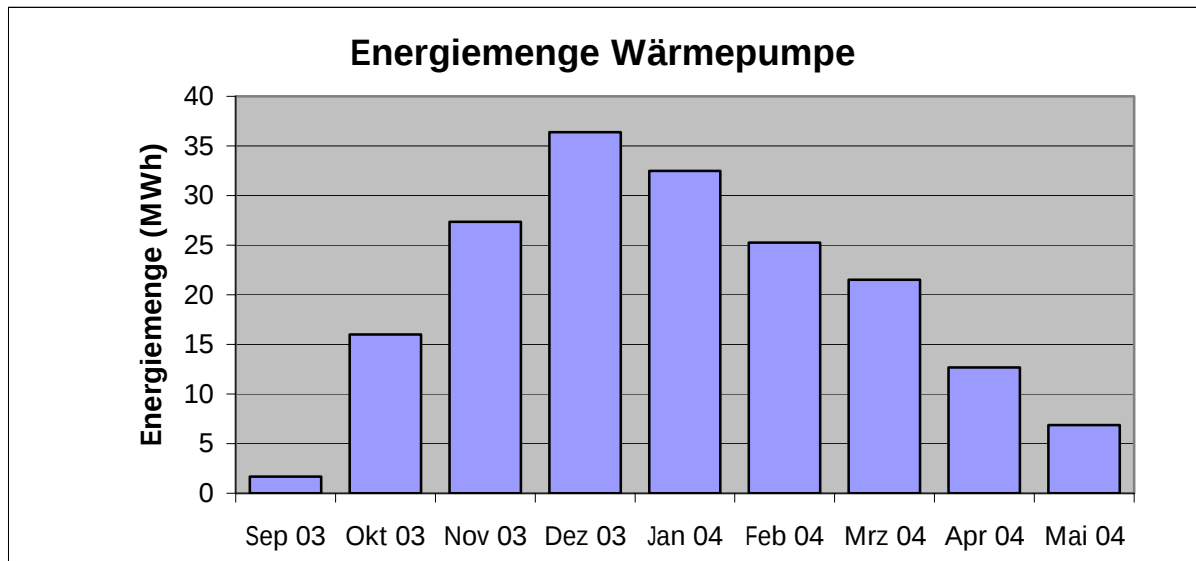
Abbildung/Tabelle 10: Soll-Ist-Vergleich Vorlauftemperatur

Folgende Faktoren haben auch einen Einfluss auf die Energieeffizienz. Diese können mit der Auswertung des ersten Betriebsjahres nicht quantifiziert werden, da die Anlage erst zu 30% der Endausbauleistung ausgelastet ist.:

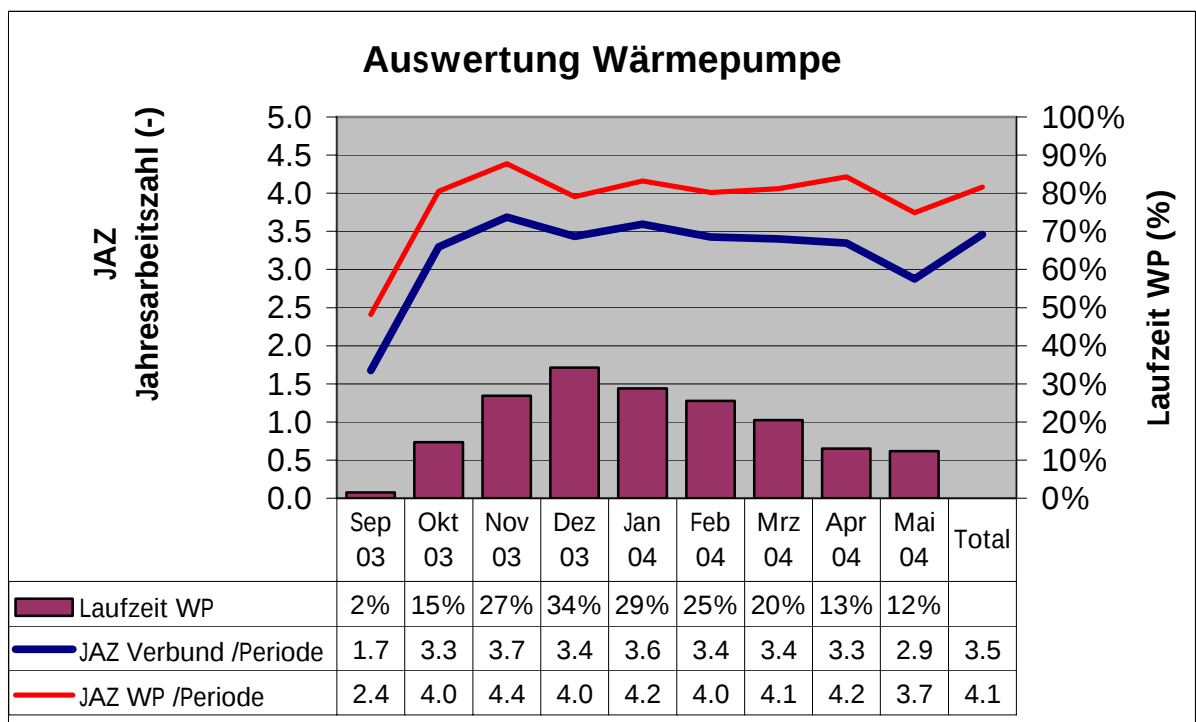
- Geringere Belastung der Erdsonden
- Anteilsmässige höhere Wärmeverluste
- Höhere Bezugsleistung der einzelnen Wärmebezüger --> höhere Vorlauftemperaturen notwendig
- Nicht optimaler Betrieb der Wärmepumpe, dadurch kurze Laufzeiten
- Geringe Bezugsleistung, die Hilfsbetriebe haben einen prozentual höheren Energiebedarf
- Die hohe eingestellte Ausschalttemperatur ($T_{a, \text{mit}} = 20^{\circ}\text{C}$) hat höhere Betriebsstunden des Wärmeverbundes zur Folge

4.4.2 Monatsauswertung

Auswertung der Wintermonate des Winters 03/04:



Abbildung/Tabelle 11: Monatliche Energiemengen der Wärmepumpe



Abbildung/Tabelle 12: Auswertung Leistungsdaten Wärmepumpe

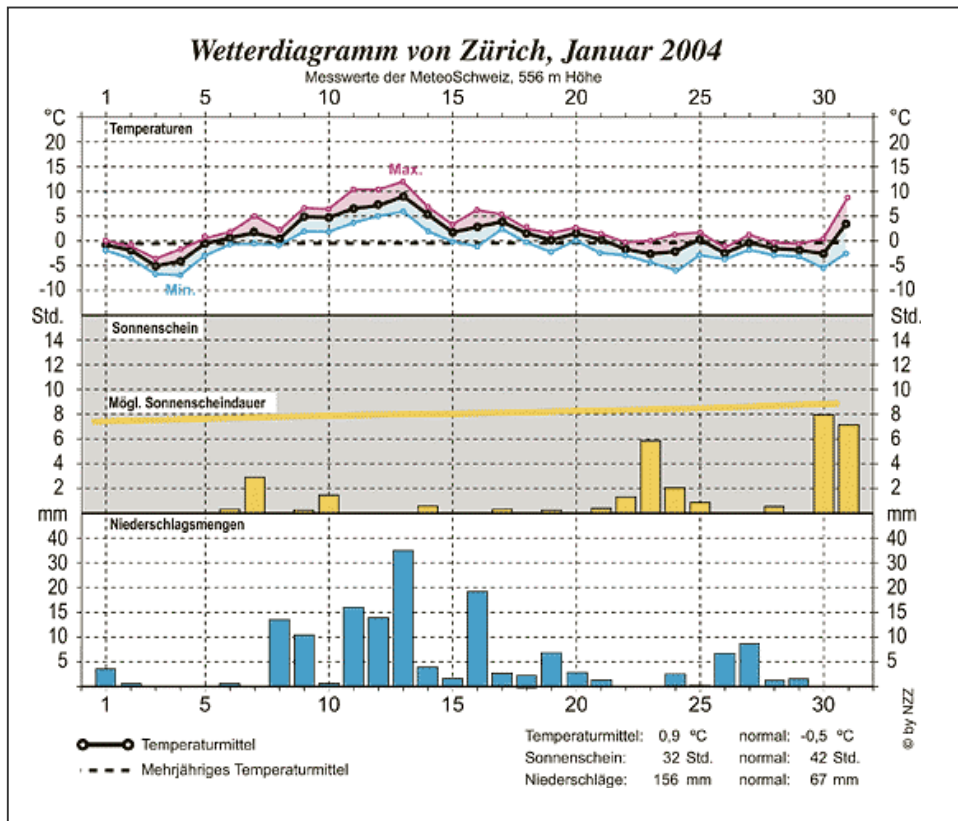
Die Auswertung zeigt folgendes Verhalten:

- In schwachen Wärmebezugsmonaten (Sept, Mai) sinkt der JAZ_{WP} und $JAZ_{Verbund}$ ab, da der Energieanteil der Hilfsbetriebe übergewichtet ist

- Der für die Energieeffizienz beste Monat ist der November 03; Ende November wurde eine weitere Parallelverschiebung der Heizkurve vorgenommen.

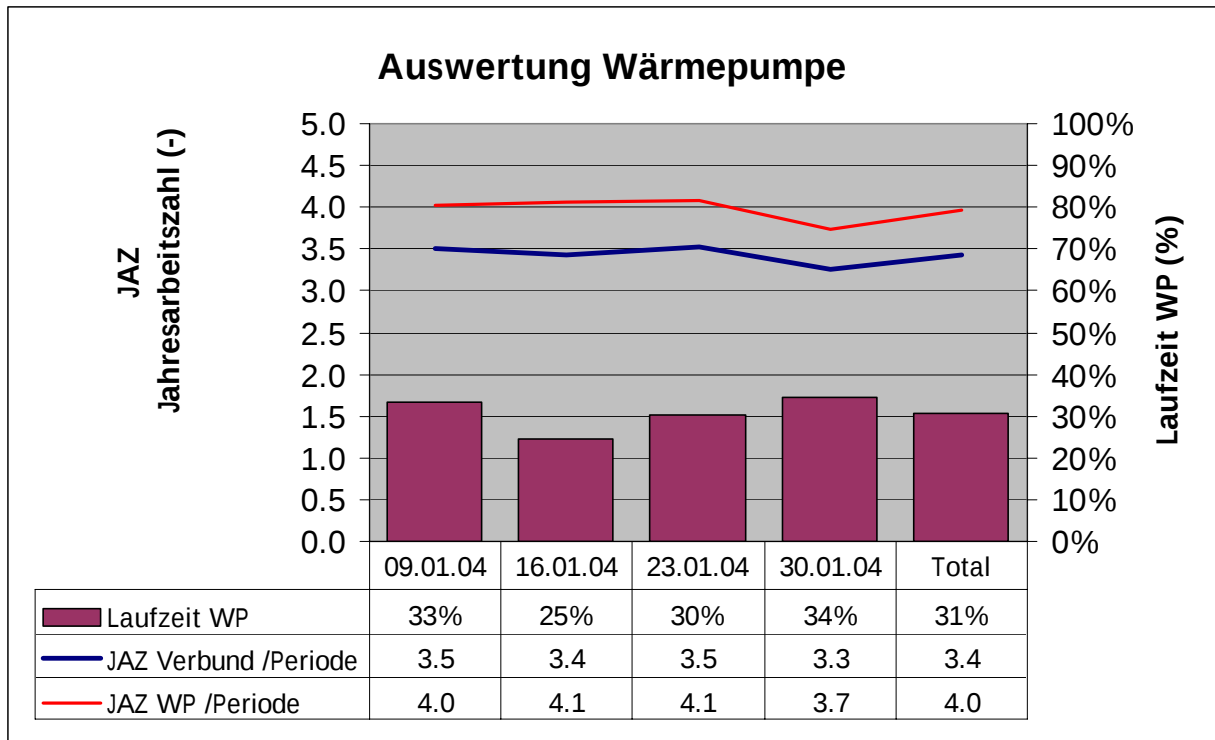
4.4.3 Auswertung einer ausgewählten Periode

Es wird die Periode Januar 2004 ausgewertet.



Abbildung/Tabelle 13: Meteodaten vom Zürich, Januar 2004

Der Januar 2004 war im Vergleich zum langjährigen Mittel etwas zu warm. Die Heizgradtagzahlabweichung für Zürich betrug ein knappes Prozent. Interessant für die Auswertung ist sicher die erste kalte Periode bis 6. Januar mit der Minimaltemperatur und in der zweiten Hälfte des Monats die Periode vom 22.-30.1 mit kälteren Temperaturen.



Abbildung/Tabelle 14: Auswertung Leistungsdaten Wärmepumpe, Januar 2004

Es sind mit Ausnahme der letzten Woche keine signifikanten Unterschiede erkennbar. Auch die erste kalte Periode zeigte keine Verschlechterung der Leistungswerte.

4.5 Folgerungen und Optimierungsmassnahmen

Grundsätzlich ist eine Interpretation der Messwerte schwierig, da die Anlage den Endausbau noch nicht erreicht hat. Daher waren einige Anlagenkomponenten für das erste Betriebsjahr sicher überdimensioniert, was sich aber auch auf die spezifischen Energiekennwerte niederschlug. Zur Verbesserung der JAZ_{WP} und der $JAZ_{Verbund}$ empfehlen wir folgende Massnahmen:

- Schrittweise Senkung der Vorlauftemperatur auf den Auslegungswert, solange keine Reklamationen seitens der Wärmebezüger eintreffen
- Optimierung der Wärmepumpensteuerung mit dem Ziel, höhere Laufzeiten zu erreichen
- Kontinuierliche Aufschreibung und Auswertung der Betriebsdaten; Erkennen von Abweichungen und sofortige Einleitung von Optimierungsmassnahmen

5. Investitionskosten

Die nachfolgende Investitionskostenzusammenstellung zeigt die abgerechneten Baukosten für die erste Bauetappe.

Alle Angaben sind exkl. MWSt.

Gewerk	Bauabrechnung
Wärmeerzeugung	[CHF]
Elektroinstallationen	26'735.00
Installation Wärme und Kälte	113'093.20
Wärmepumpe	96'152.65
Erdsondenverbindungsleitungen	58'150.00
Sanitärinstallationen	2'250.00
Erdsondenbohrungen	316'405.25
Bauarbeiten Zentrale	13'207.65
Beratungen und Honorare	94'941.80
Bau-Ingenieur	13'878.19
Geologisches Gutachten Erdsondenbohrungen	2'850.00
Geologische Begleitung Erdsondenbohrungen	5'490.00
Nebenkosten und Gebühren	7'077.55
Total Wärmeerzeugung	750'231.28
Wärmeverteilung	
Elektroinstallationen	10'273.30
Wärmeverteilnetz, Übergabestationen	202'675.50
Heizprovisorien	15'719.30
Wärmeübergabestationen, Messungen	23'050.95
Wärmeübergabestationen, Abdichtungen	11'326.65
Bauarbeiten Netz	166'406.70
Beratungen und Honorare	77'679.65
Bau-Ingenieur	21'115.25
Qualitätssicherung (Schweisnahtprüfung)	1'550.00
Total Wärmeverteilung	529'797.31
Total 1. Etappe	1'280'028.59

Abbildung/Tabelle 15: Baukostenabrechnung erste Bauetappe

6. Anhang

6.1 Fotos der Heizzentrale

6.2 Übersichtsplan

6.3 Hydraulisches Schema

6.4 Geologische Profil der Voruntersuchung

6.5 Aufgenommenes Profil einer Bohrung

6.6 Temperaturprofil dieser Sonde

6.7 Betriebsprotokoll

6.1 Fotos der Heizzentrale

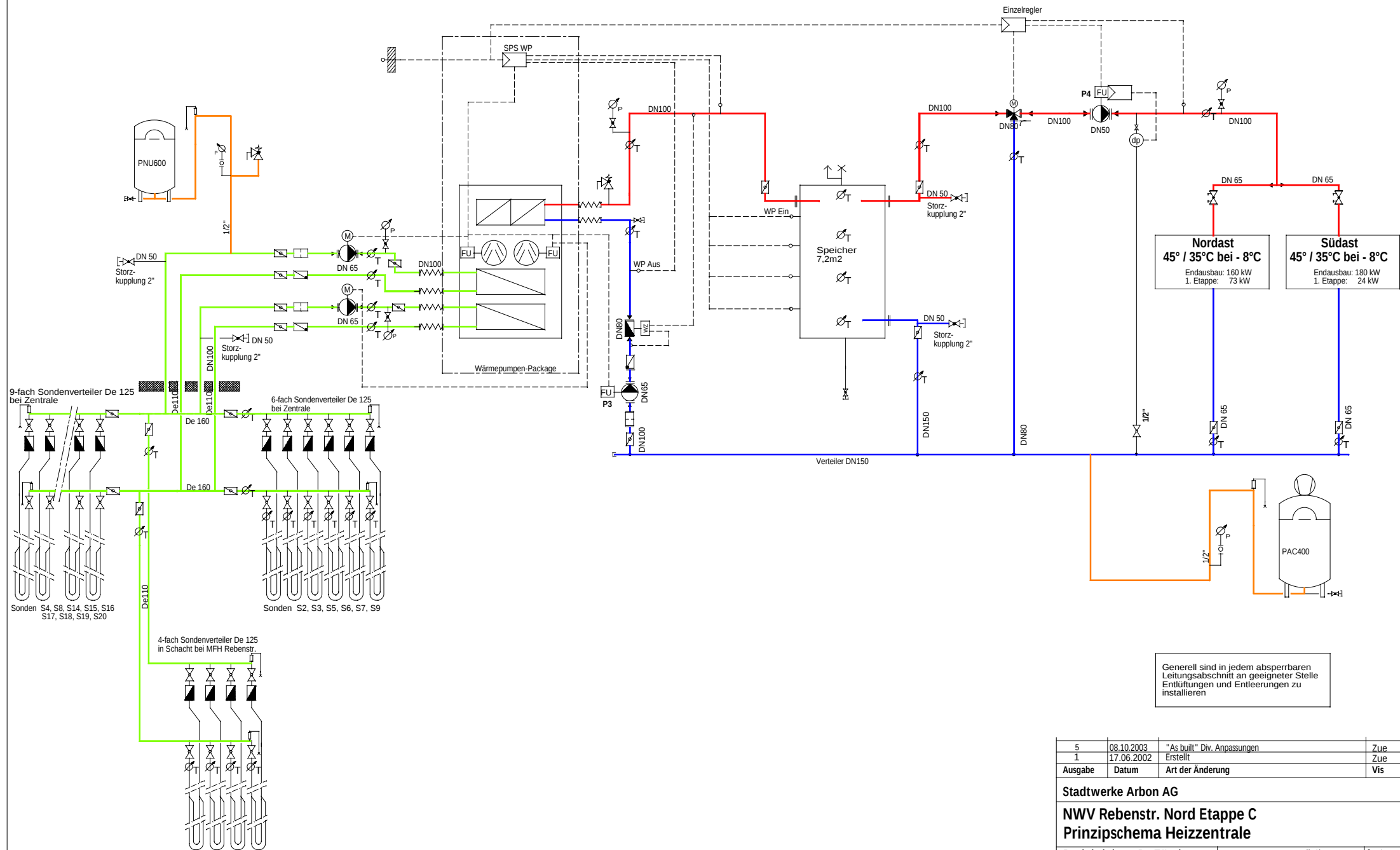


Abbildung/Tabelle 16 Kältegruppe und Wärmepumpe, Sondenverteiler



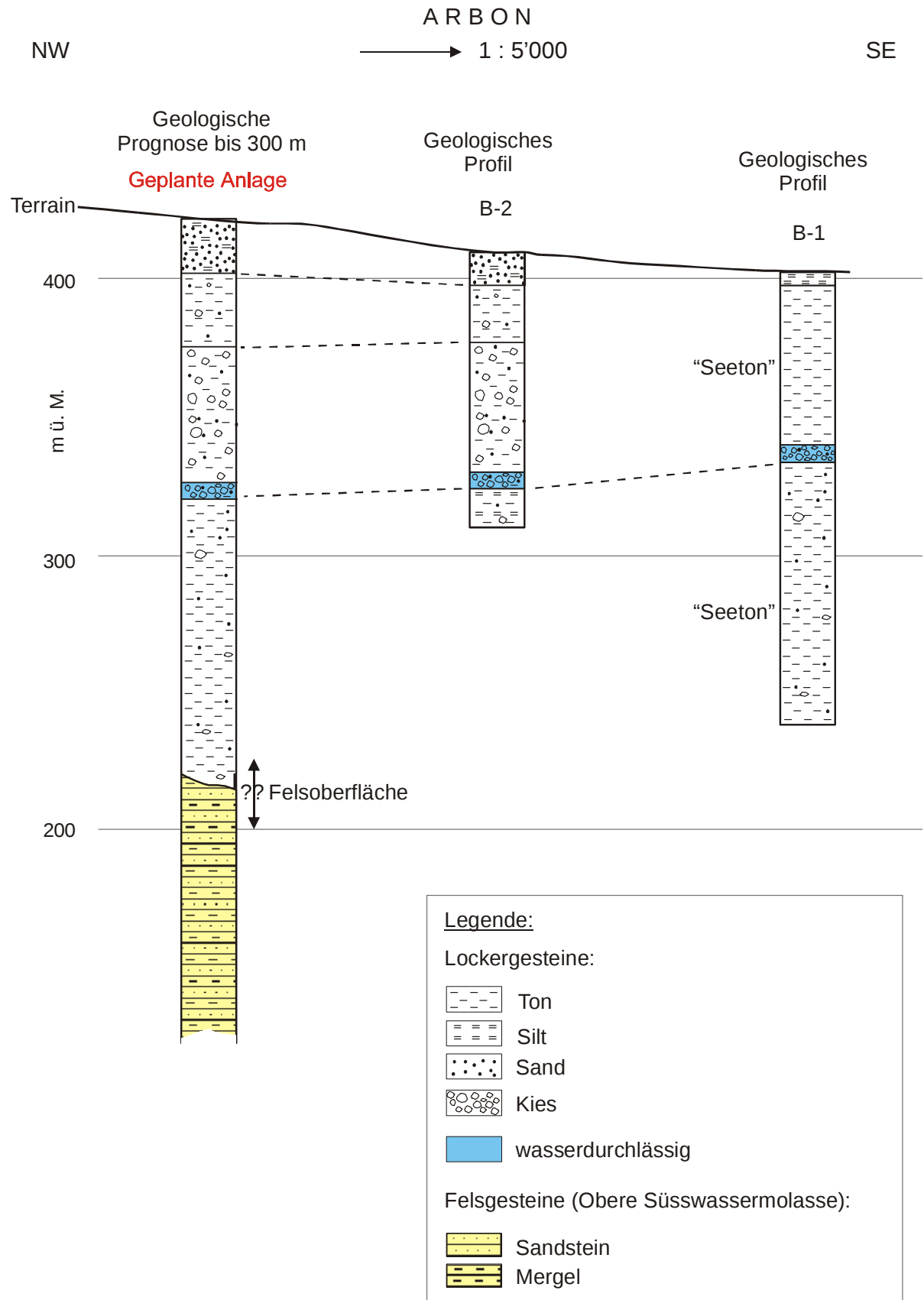
Abbildung/Tabelle 17: Nahwärmegruppe, Expansionsanlage





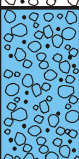
5	08.10.2003	"As built" Div. Anpassungen	Zue
1	17.06.2002	Erstellt	Zue
Ausgabe	Datum	Art der Änderung	Vis
Stadtwerke Arbon AG			
NWV Rebenstr. Nord Etappe C			
Prinzipschema Heizzentrale			
Projektleiter: D. Zürcher		Masstab:	Format: A3
Durena AG		Datei: p:\Arbon_Rebenstr\Pläne\schemaprinzip2.skd	
CH-5600 Lenzburg		Plan-Nr.:	40.20.10.020.0-007

6.4 Geologisches Profil der Voruntersuchung



Abbildung/Tabelle 18: Geologisches Profil der Voruntersuchung

6.5 Geologisches Profil einer ausgeführten Bohrung

Geologisches Büro Dr. U. Schärli Giblenstr. 3 8049 Zürich							Tel: 01 341 12 27, Fax 01 341 12 26	
Objekt: NWV Rebenstrasse Notd, Etappe C, 9320 Arbon ; Erdwärmesondenbohrung S9: 255 m Tiefe.								
Bohrung: S 9 (19.-22.11.2002)			Bauherr: Stadtwerke Arbon AG, 9320 Arbon					
Koordinaten: ca. 749'058 / 264'482			Projektverfasser: Durena AG, Sägestrasse 6, 5600 Lenzburg					
Kote: ca. 419 m ü.M.			Bohrfirma: Hastag St. Gallen, Waldmannstrasse 9a, 9014 St. Gallen					
Sonde	Kote m ü.M.	Tiefe m OKT	Profil	Lithologische Beschreibung des Bohrguts	Geologie	Bemerkungen		
				siltiger Ton , mit wenig Sand und Kies, grau	glaziofluviale Ablagerungen	<u>Einbau</u> <u>Erdwärmesonde:</u> Doppel-U		
		13		Ton, mit wenig Sand und ganz wenig Kies, grau, plastisch		<u>Grundwasser:</u> Wassereintritte bei: 64 - 76 m		
		46		siltiger toniger Kies, mit wenig Sand, <u>schwarz-grau-</u> <u>braun-grün-weiss</u>		<u>Bohrgut:</u> Bohrklein alle 3m		
		49		sauberer Kies, mit wenig Sand, schwarz-grau-grün-rot; Gerölle gerundet		<u>geol. Aufnahme:</u> 22. November 2002		
		55		leicht siltiger Kies, mit wenig Sand, schwarz-grau- grün-rot; Gerölle gerundet mit Kratzspuren		<u>Bohrart:</u> Spül/Hammerbohrung		
		64		sauberer Kies , mit wenig Sand, schwarz-grau-grün- braungelb-weiss-rotbraun; Gerölle oft gerundet				
		76		siltiger Kies, mit wenig Sand; <u>schwarz-grau-bunt</u>				
		79		siltiger toniger Kies, mit wenig bis reichlich Sand, <u>schwarz-grau-bunt</u>				
		82		stark siltig-toniger Kies , mit reichlich Sand, <u>schwarz-grau-bunt</u>				
		91		toniger Silt, mit reichlich Sand und Kies, grau				
		94		stark siltiger toniger Kies, mit wenig Sand, <u>schwarz-grau-bunt</u>				
		97		siltiger Ton, mit wenig Sand und Kies, grau				
		319	100					

Objekt: NWV Rebenstrasse Notd, Etappe C, 9320 Arbon ; Erdwärmesondenbohrung S9: 255 m Tiefe.

Bohrung: S 9 (19.-22.11.2002)

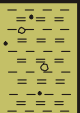
Bauherr: Stadtwerke Arbon AG, 9320 Arbon

Koordinaten: ca. 749'058 / 264'482

Projektverfasser: Durena AG, Sägestrasse 6, 5600 Lenzburg

Kote: ca. 419 m ü.M.

Bohrfirma: Hastag St. Gallen, Waldmannstrasse 9a, 9014 St. Gallen

Sonde	Kote m ü.M.	Tiefe m OKT	Profil	Lithologische Beschreibung des Bohrguts	Geologie	Bemerkungen
				siltiger Ton , mit wenig Sand und Kies, grau	glazifluviale Ablagerungen	Fortsetzung (Teil 2)
		111		siltiger Ton , mit wenig Sand und selten Kies, grau		
		117		toniger Silt , mit wenig Sand und viel Kies, grau		
		120		siltiger Ton , mit wenig Sand und Kies, grau		
		129		siltiger Ton , mit reichlich Sand und Kies, grau		
		135		stark siltiger toniger Kies , mit reichlich Sand, <u>schwarz-grau-bunt</u>		
		153		siltiger Kies , mit reichlich Sand, <u>schwarz-grau-grün-ocker-rot</u> (Radiolarit)		
		159		stark siltiger toniger Kies , mit reichlich Sand, <u>schwarz-grau-bunt</u>		
		165		siltiger Kies , mit reichlich Sand, <u>schwarz-grau-grün-ocker-rot</u> (Radiolarit)		
		171		stark siltiger toniger Kies , mit reichlich Sand, <u>schwarz-grau-bunt</u>		
		177		siltiger Kies , mit reichlich Sand, <u>schwarz-grau-bunt</u>		
		183		siltig-toniger Kies , mit reichlich Sand, <u>schwarz-grau-grün-braun-rot</u> (Radiolarit)		
	219	200				

Objekt: NWV Rebenstrasse Notd, Etappe C, 9320 Arbon ; Erdwärmesondenbohrung S9: 255 m Tiefe.

Bohrung: S 9 (19.-22.11.2002)

Bauherr: Stadtwerke Arbon AG, 9320 Arbon

Koordinaten: ca. 749'058 / 264'482

Projektverfasser: Durena AG, Sägestrasse 6, 5600 Lenzburg

Kote: ca. 419 m ü.M.

Bohrfirma: Hastag St. Gallen, Waldmannstrasse 9a, 9014 St. Gallen

Sonde B 1	Kote m ü.M.	Tiefe m OK	Profil	Lithologische Beschreibung des Bohrguts	Geologie	Bemerkungen
		206		siltig-toniger Kies , mit reichlich Sand, <u>schwarz-grau-grün-braun-rot</u> (Radiolarit)	glazifluviale Ablagerungen	Fortsetzung (Teil 3)
				siltiger Kies , mit reichlich Sand, <u>schwarz-grau-grün-ocker-rot</u> (Radiolarit)		
		217		sauberer Kies , mit viel Sand, <u>schwarz-grau-bunt</u>		
		223		sauberer Kies mit wenig Sand , konglomeratähnlich, <u>schwarz-grau-bunt</u>		
	169	250		Konglomerat , schwarz-grau-bunt, hart	OSM	
		255		Mergel , grau-ocker, weich		
	162	257				

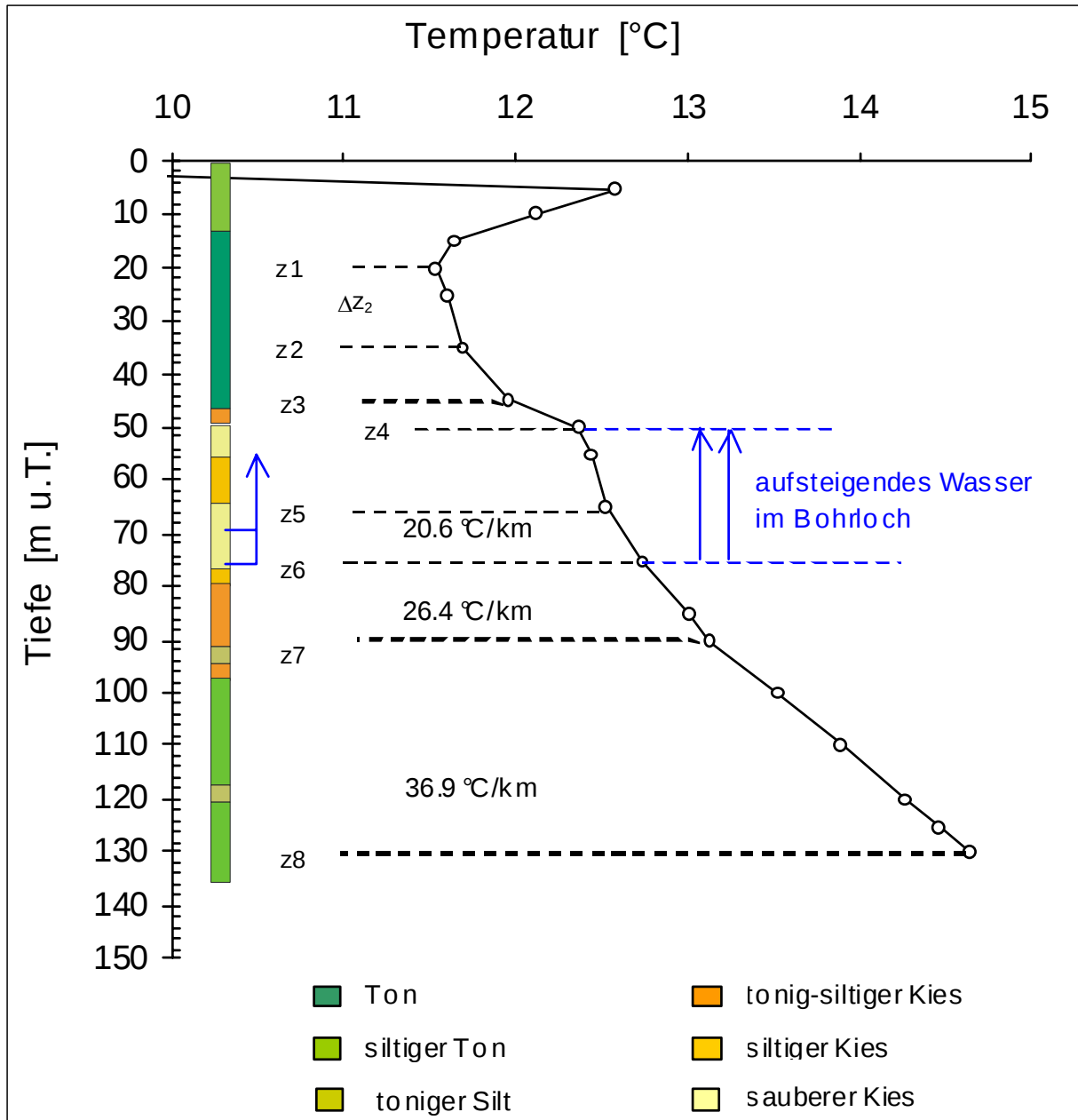
Hydraulische Durchlässigkeit im Quartär:

	gross
	mittelgross
	gering
	nicht definiert

Abbildung/Tabelle 19: Geologisches Profil einer ausgeführten Bohrung

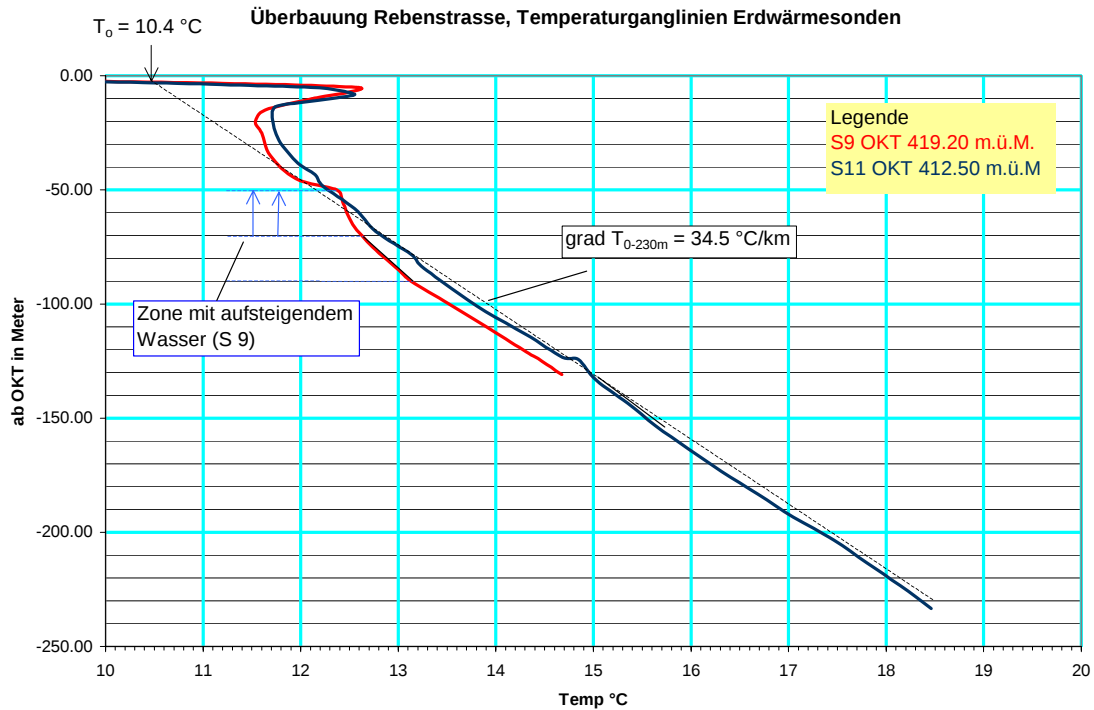
6.6 Wärmeleitfähigkeitsberechnung und Temperaturprofil einer Sonde

Messung:



Abbildung/Tabelle 20: Wärmeleitfähigkeitsberechnung und Temperaturprofil der Erdsonde

Auswertung:



Abbildung/Tabelle 21: Temperaturganglinien Erdwärmesonden

Spezifische Sondenleistungsbestimmung:

Probe	Tiefe		Form	Geologie	Lithologie	λ_f W/mK	$\Delta\lambda_f$ W/mK	λ_m W/mK	$\Delta\lambda_m$ W/mK	ϕ %	λ_{eff} W/mK	N	ρ_m g/cm ³	Bemerkungen
Arb 1	12	12	C	Quartär	siltiger Ton	1.56						6		direkt gemessen
Arb 2	36	39	C	Quartär	Ton	1.74	0.11					6		direkt gemessen
Arb 3	69	72	C	Quartär	sauberer Kies			4.53	0.62	20	3.05	3	2.67	indirekt bestimmt
Arb 4	84	87	C	Quartär	siltiger toniger Kies			3.54	0.18	15	2.73	6	2.52	indirekt bestimmt
Arb 5	107	110	C	Quartär	siltiger Ton	1.81	0.05					6		direkt gemessen
Arb 6	122	125	C	Quartär	siltiger Ton	1.87	0.06					6		direkt gemessen
Arb 7	155	158	C	Quartär	siltiger Kies			4.17	0.45	15	3.13	6	2.62	indirekt bestimmt
Arb 8	191	194	C	Quartär	siltiger toniger Kies			4.09	0.25	15	3.08	6	2.55	indirekt bestimmt
Arb 9	210	213	C	Quartär	siltiger Kies			4.09	0.39	15	3.08	6	2.65	indirekt bestimmt
Arb 10	231	234	C	Quartär	sauberer Kies			4.34	0.59	10	3.57	7	2.66	indirekt bestimmt

Abbildung/Tabelle 22: Messresultate der Wärmeleitfähigkeitsbestimmung

Legende: λ_f = Wärmeleitfähigkeit der bergfeuchten Probe, λ_m = Matrix-Wärmeleitfähigkeit, ρ_m = Matrixdichte Gestein, $\phi_{i,eff}$ = geschätzte Porosität einer lithologischen Einheit, λ_{eff} = effektive Wärmeleitfähigkeit des feuchten Gesteines, Δ = Messfehler

Lithologie	$\lambda_{\text{eff},i}$	$m_{i,240\text{m}}$	$m_{i,150\text{m}}$
siltiger Ton	1.75	48	48
Ton	1.74	33	33
toniger Silt	1.75	6	6
sauberer Kies	3.31	51	18
siltiger Kies	3.1	41	12
siltig-toniger Kies	2.9	61	33
Molasse			

Legende: $\lambda_{\text{eff},i}$ = Mittlere Wärmeleitfähigkeit der Lithologie i

$m_{i,240\text{m}}$ = summierte Mächtigkeit der i-ten Lithologie von 0 – 240m Tiefe

Abbildung/Tabelle 23: Wärmeleitfähigkeitsmittelwerte der einzelnen Schichten

Tiefenbereich	$\lambda_{\text{eff},x}$	$\lambda_{\text{eff},z}$
	[W/m,K]	[W/m,K]
0 - 240m	2.60	2.41
0 - 150 m	2.30	2.13

Abbildung/Tabelle 24: Gewichtete Wärmeleitfähigkeit für verschiedene Tiefenbereiche

Abbildung/Tabelle 25: Betriebsprotokoll

*Soletemperaturen nur ablesen, wenn WP in Betrieb

Datum		Wer		Wärmepumpe		Zählerstände					Temperaturen				Regler		Expansion/Überdruck		Bemerkungen	
						Elektrozähler (x8)		Wärmezähler	Nahwärmenetzpumpe		Sole*		Speicher		Fw-Vorlauf Ist-Wert	Temperaturen		Sollwerte		
						1.8.1	1.8.2					Eintritt	Austritt	oben		unten		VL-Soll	Aussen	NWV
Örtlichkeit		Ablesung		Anzeige Wärmepumpen-SPS		Elektrozähler im Schaltschrank		Wärmezähler an Schaltschrantüre		Anzeige Frequenzumrichter		Thermometer bei Solepumpen		Thermometer Speicher		Thermo- meter nach Mischventil	Regler an Schaltschrantüre		bei Schalt- schrank	bei WP
		[h]	[Starts]	[h]	[Starts]	[kWh]	[kWh]	[MWh]	[kWh]	[h]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[bar]	[bar]	
08.04.03	D. Zürcher	8.1	26	8.0	22	76	108	2.85	112.3	333.5	12	8	45	37	40	40	3			WP in Betrieb
23.04.03	D. Zürcher	24.2	66	24.2	66	149	226	7.52	257.2	658.6			39	39	35	35	28.5			Zentrale nicht in Betrieb
27.05.03	D. Zürcher	51.5	137	51.5	135	280	463	16.24	604.6	1450			39	39	30	30	14			WP nicht in Betrieb
05.09.03	Naef	54.7	151	56.6	155	385	591	17.54	726.9	1666			38	38	40	39	22.5	1.5	1.5	
12.09.03	Schmid	56.8	162	56.6	155	398	608	17.8	787.4	1786.3			38	30	36.5	36	20.5	1.5	1.5	
22.09.03	Schmid	59.0	170	59.0	163	414	639	18.63	850	1909			37.5	37	30.5	30	12	1.5	1.5	
26.09.03	Schmid	59.2	181	59.1	176	422	643	18.66	878	1958			19	19	22	22	8			
05.10.03	Schmid	62.8	197	62.6	198	454	675	19.65	979	2151			39	35	32	32	6			
13.10.03	Soller	69.2	213	68.9	216	498	722	21.74	1083	2344.6			33.5	35	34.5	34	17.5	1.5	1.3	
24.10.03	Lengg	88.3	239	87.3	245	609	813	26.72	1229	2603.1			37	37	38.5	38	0.5	1.4	0.3	
31.10.03	Bürgi	113.8	264	112.2	273	729	950	34.41	1330	2739.8			31.5	26	36	35	3.5	1.4	0.4	
07.11.03	Soller	133.4	295	133.6	306	830	1045	39.99	1435	2944.5			41	26	35	36	9	1.5	1.05	
14.11.03	Ranzoni	156.5	318	156.3	332	942	1157	46.7	1533	3106.2			34	35	35.5	35	6.5	1.5	0.95	
21.11.03	Naef	179.1	345	179.3	361	1056	1261	52.98	1638	3273.1			41	42	8	38	4.5	1.5	1.5	
28.11.03	Lengg	202.9	370	201.3	390	1157	1377	59.68	1739	3439.3			40	28	37	37	3	1.5	1.25	
05.12.03	Bürgi	226.7	399	226.5	419	1264	1506	66.44	1842	3607.3			33.1	33.3	34.2	34	3.5	1.5	0.75	
18.12.03	Lengg	279.5	446	280.8	468	1538	1736	81.92	2032	3918.4	9	7.5	38	39	39	38	-1	1.5	0.7	WP-Störung; Druck Sole zu tief
23.12.03	Naef	303.0	46	302.0	485	1656	1899	88.1	2109	4042			46	32	4	43	-1.5	1.5	1.2	
30.12.03	Soller	331.6	486	332.2	507	1802	2073	96.57	2208	4206.7	9	7	42.5	43	43	43	1	1.5	0.65	WP in Betrieb
09.01.04	Ranzoni	372.4	521	371.3	545	2000	2301	108.52	2351	4443.4			44	45	40.5	40	2	1.5	1.15	
16.01.04	Juchli	392.3	544	392.8	569	2101	2412	114.33	2453	4613.8	9	7	44	44	43	43	1	1.5	0.65	
23.01.04	Juchli	419.5	568	416.7	593	2218	2563	121.88	2554	4778.2			45	31	44	44	1.5	1.5	1.1	

30.01.04	Naef	446.8	591	447.3	618	2366	2724	129.94	2652	4941.4	8.5	6.5	44	43	45	45	-2.5	1.5	0.7	
06.02.04	Soller	464.6	608	464.3	641	2457	2817	135.24	2744	5108.7			37	37	38	38	3	1.5	0.7	
12.02.04	Naef	486.9	634	487.0	665	2559	2937	141.21	2836	5273.9			42	29	42	42	1	1.5	0.9	
20.02.04	Bürgi	508.0	660	508.5	695	2675	3040	147.12	2930	5443.3			39.5	40.5	40.5	41	0	1.45	0.9	
27.02.04	Bürgi	529.0	685	531.0	718	2784	3164	153.66	3023	5609.3			36.5	29.5	37.5	39	-2	1.45	0.8	
05.03.04	Lengg	555.0	705	555.0	743	2904	3314	160.77	3116	5777			35	36.2	36	36	-1	1.45	0.8	
12.03.04	Naef	577.0	728	577.0	767	3012	3430	166.7	3208	5945			41	41	41	41	1	1.5	1.2	
19.03.01	Bürgi	588.0	743	588.0	782	3069	3493	170.36	3299	6111			35	35	33	33	9.5	1.35	1.1	
26.03.04	Ranzoni	603.0	765	605.0	800	3151	3569	174.37	3396	6278			44	28	44	42	1	1.45	1.15	
02.04.04	Lengg	619.0	785	619.0	817	3226	3651	178.87	3491	6442			35	26	35	34	8.5	1.45	1.1	
16.04.04	Bürgi	649.0	829	649.0	860	3355	3809	186.85	3685	6772			35	27	36	36	7.5	1.4	0.9	
23.04.04	Naef	658.0	844	658.0	873	3392	3864	189.25	3768	6916			35	35	30	29	15	1.45	1.2	
03.05.04	Soller	665.0	858	665.0	888	3415	3932	191.33	3876	7106			35	27	30	30	15.5	1.45	1.05	
07.05.04	Bürgi	670.0	867	670.0	897	3441	3959	192.55	3922	7187			39.5	30.5	37	37	6.5	1.45	1.05	
14.05.04	M.G.	680.0	882	680.0	913	3479	4020	195.18	4013	7345.7			35	35	35	34	23	1.4	1	
21.05.04	Ranzoni	682.9	888	682.7	918	3489	4050	196.16	4050	7410.7			34	30	31	30	15.5	1.4	1	
28.05.04	Brand	687.6	897	687.5	928	3504	4092	197.33	4112	7521.4			35	35	34	34	24	1.4	0.95	
04.06.04	Lengg	690.2	906	690.7	935	3520	4130	198.1	4190	7680.2			35	36.5	32	32	22.5	1.45	0.95	
11.06.04	Brand	692.6	911	692.7	939	3530	4144	198.84	4216	7710.7			34	31.5	33	33	21.5	1.4	1	

6.8 Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abbildung/Tabelle 1: Prinipschema des Nahwärmeverbundes mit Anschlussleistungen	5
Abbildung/Tabelle 2: Anschlussleistung und Ausbauetappen Nahwärmeverbunden.....	6
Abbildung/Tabelle 3: Technischen Daten der Wärmepumpe	7
Abbildung/Tabelle 4: Technische Daten Umwälzpumpe.....	7
Abbildung/Tabelle 5: Vor- und Rücklauftemperaturen des Nahwärmenetzes ab Zentrale	8
Abbildung/Tabelle 6: Eckdaten der Erdsondenbohrungen.....	10
Abbildung/Tabelle 7: Definition der Messwerte	12
Abbildung/Tabelle 8: Leistungsdaten Nebenantriebe	14
Abbildung/Tabelle 9: Auswertung erstes Betriebsjahr und Soll-Ist-Vergleich	14
Abbildung/Tabelle 10: Soll-Ist-Vergleich Vorlauftemperatur	15
Abbildung/Tabelle 11: Monatliche Energiemengen der Wärmepumpe.....	16
Abbildung/Tabelle 12: Auswertung Leistungsdaten Wärmepumpe	16
Abbildung/Tabelle 13: Meteodaten vom Zürich, Januar 2004	17
Abbildung/Tabelle 14: Auswertung Leistungsdaten Wärmepumpe, Januar 2004	18
Abbildung/Tabelle 15 Kältegruppe und Wärmepumpe, Sondenverteiler	21
Abbildung/Tabelle 16: Nahwärmegruppe, Expansionsanlage	21
Abbildung/Tabelle 17: Geologisches Profil der Voruntersuchung	24
Abbildung/Tabelle 18: Geologisches Profil einer ausgeführten Bohrung.....	27
Abbildung/Tabelle 19: Wärmeleitfähigkeitsberechnung und Temperaturprofil der Erdsonde ..	28
Abbildung/Tabelle 20: Temperaturganglinien Erdwärmesonden	29
Abbildung/Tabelle 21: Messresultate der Wärmeleitfähigkeitsbestimmung	29
Abbildung/Tabelle 22: Wärmeleitfähigkeitsmittelwerte der einzelnen Schichten	30
Abbildung/Tabelle 23: Gewichtete Wärmeleitfähigkeit für verschiedene Tiefenbereiche.....	30
Abbildung/Tabelle 24: Betriebsprotokoll	31