



Diplomarbeit

Integration eines Bohrlochwärmetauschers in ein bestehendes Heizsystem

erstellt für

**OMV Exploration and
Production GmbH**

Vorgelegt von:

Thomas Dürnegger, BSc
0235150

Betreuer/Gutachter:

Dipl. Ing. Peter Naderer
O.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. Josef Draxler

Leoben, 30. September 2009

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

DANKSAGUNG

An erster Stelle bedanke ich mich bei meiner Familie für die Unterstützung über die gesamte Studienzeit danken. Nur dadurch waren die unbeschwerten Jahre in Leoben möglich.

Auf universitärer Seite gilt mein Dank dem Verfahrenstechnik - Institut und im speziellen Herrn Prof. Draxler für die Betreuung der Diplomarbeit. Außerdem möchte ich noch Herrn Bernd Hollauf für die Gespräche über die Montanuniversität während meiner Bundesheerzeit danken. Diese dürften ein Mitgrund, für die Entscheidung in Leoben studieren zu wollen, gewesen sein.

Ganz besonders möchte ich mich bei meinen Betreuern Leopold Bräuer und Peter Naderer und den Herren Clemens Fleischmann, Manuel Rössler, Andreas Pölzl und Paul Frühling für die gute Zusammenarbeit und die kurzweiligen Stunden bei der OMV bedanken.

Nicht unerwähnt bleiben darf natürlich mein über das Studium erworbener Freundeskreis, der die Tage in der Steiermark zu einem unvergesslichen Erlebnis machte. Siempre van a tener un espacio en mi corazón!

Wer nicht zufrieden ist mit dem, was er hat, der wäre auch nicht zufrieden mit dem, was er haben möchte.¹

¹ Berthold Auerbach

Kurzfassung

Integration eines Bohrlochwärmetauschers in ein existierendes Heizsystem

Um die ausgeförderten Sonden weitzernutzen zu können, betreibt die OMV derzeit einen Pilotversuch in Prottes, Niederösterreich. Dem Bohrloch wird mittels Wärmetauscher Energie entzogen, welche zur Versorgung umliegender Abnehmer genutzt werden kann.

Rund die Hälfte der Investitionskosten fällt auf die Bohrung zurück. Da die Löcher durch die vorherige Erdöl- bzw. Erdgasgewinnung ohnehin vorhanden sind, kann der Hauptkostenanteil eingespart werden.

Aufbauend auf die Ergebnisse des Pilotprojektes werden weitere Bohrlöcher auf ihre Brauchbarkeit analysiert. Die Diplomarbeit behandelt die ehemalige Erdgassonde Hirschstetten 5 im Wiener Gemeindegebiet in Hinblick auf die Integration als Bohrlochwärmetauscher in das derzeitige Heizsystem der nebenstehenden Gärtnerei.

Abstract

Technical integration of a borehole heat exchanger into an existing heating system

The OMV – Project “Prottes Tief 11 (PT11)” is about a retooled, exploited borehole (depth: 2.243m) that is used for geothermal energy extraction. The applied process, in which the heat transfer medium circulates in a closed system, can be summarized as follows:

“The heat transfer medium which is brought in at the top of the borehole (in most cases water is used) is pumped down and heated up more and more by the surrounding rocks. At the bottom of the borehole the medium changes direction and is transported back to the top. At the surface the geothermal energy (saved within the medium) is delivered to a borehole heat exchanger. It gives the geothermal energy to an installed heating system and, at the same time, cools the heat transfer medium down to its initial inlet temperature. After rushing through the borehole heat exchanger the heat transfer medium is sent back to the bottom of the borehole again and the circle reproduces itself.”¹

The following chapters describe the geothermal process and the plant in Prottes. Furthermore another borehole is analyzed with regard to use its geothermal energy for the heating of a nursery.

¹ Quelle: Antragsformular Teil A – Geothermie aus alten Sonden OMV

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. EINLEITUNG.....	3
1.1 Problemstellung	3
1.2 Zielsetzung.....	4
1.3 Vorstellung des Unternehmens	5
2 GEOTHERMIE	7
2.1 Erdwärme.....	7
2.2 Verfahren zur geothermischen Energiegewinnung.....	8
2.3 Tiefe Einzelsonde.....	9
2.4 Kostenüberblick und kurzer Kostenvergleich mit den herkömmlichen Alternativen mit den herkömmlichen Alternativen.....	11
3.1 Bohrlochwärmehaushalt weltweit	14
3.2 Auswirkungen auf die Umwelt	14
3.3 Fazit und Ausblick 2012	14
3 TECHNISCHE SCHWERPUNKTANALYSE	16
3.4 Technische Beschreibung der Versuchsanlage Prottes	16
3.5 Beschreibung des Containers	17
3.6 Borehole Heat Exchanger Prottes PT11.....	19
3.7 Wärmeleistung BHE Prottes T11.....	24
3.8 Geplante Nutzung Sonde PT11.....	26
3.9 Absorptionskältemaschinen bzw. Absorptionswärmepumpe	31
3.10 Prozessmedium	34
4 GÄRTNEREI EVELYNE BACH, HIRSCHSTETTEN.....	35
4.1 Gewächshaus Aufbau und Temperaturen	36
4.2 Temperaturregelung Gewächshaus	38
4.3 Benötigte Energie bzw. derzeitiges Heizverhalten.....	39
4.4 Wärmebedarfskurve	41

5	TECHNISCHE INTEGRATION.....	44
5.1	Kurzbeschreibung Bohrloch Hirschstetten 5.....	44
5.2	Einfluss der Parameter der Isolationsschicht auf den Wärmeverlust.....	45
5.5	Variante 1.....	46
5.5.1	Simulation des Borehole Heat Exchangers.....	49
5.5.2	Container.....	57
5.5.2.1	Wärmetauscher W1.....	57
5.5.2.2	Expansionsanlage.....	60
5.5.2.3	Weiteres mögliches Einsparungspotential im Container.....	63
5.5.3	Gaswärmepumpen.....	64
5.5.4	Schichtkessel.....	67
5.5.5	Heizkreislauf Gewächshauskomplex.....	68
5.5.6	Heizkreislauf Haus.....	68
5.6	Variante 2.....	69
5.6.1	Borehole Heat Exchanger.....	71
5.6.2	Container.....	72
5.6.3	Ölbrenner.....	74
5.6.4	Verteiler.....	74
5.6.5	Heizung Gewächshaus.....	75
5.6.6	Heizung Haus.....	76
6	ERGEBNISSE / DISKUSSION.....	77
7	ZUSAMMENFASSUNG.....	79
8	VERZEICHNISSE.....	82
	Literatur.....	82
	Abkürzungsverzeichnis.....	84
	Tabellen.....	87
9	ANHANG.....	91

1. Einleitung

1.1 Problemstellung

Um den Schritt von einem reinen Öl und Gas zu einem übergreifenden Energieunternehmen mit erneuerbarer Energie im Portfolio zu verstärken, wurde im Juni 2006 der Future Energy Fund gegründet. Es sollen damit Projekte wie Carbon Capture and Storage oder wie in diesem Fall Verfahren geothermischer Natur betrachtet werden, um deren Nutzungsmöglichkeiten abschätzen zu können.

In Österreich betreibt die OMV derzeit um die 1.000 Erdöl- und Erdgassonden, welche nach abgeschlossener Rohstoffgewinnung stillgelegt werden. Durchschnittlich betrifft diese Liquidierung um die 30 Sonden, mit einer Teufe zwischen 300 und 6.000 Metern, pro Jahr.

Mit der Einführung des Future Energy Fund wurden finanzielle Ressourcen geschaffen, um die geothermale Nutzung alter Kohlenwasserstoffbohrungen untersuchen zu können. Diese müssen zuerst zu Bohrlochwärmetauschern umgebaut und anschließend im Probetrieb eingestellt bzw. getestet werden.

Derzeit liegt das Hauptaugenmerk auf einem Pilotprojekt in der niederösterreichischen Gemeinde Prottes, Bezirk Gänserndorf. Die Anlage wurde im April 2009 in Betrieb genommen. In diesem Pilotprogramm wird die Konkurrenzfähigkeit der Geothermie mit den Alternativen abgeschätzt. Es kommt zur Erfahrungssammlung bezüglich Einbauten und zum Ausmerzen von anfänglichen Schwierigkeiten am erarbeiteten System.

Sollten die Versuchsreihen in Prottes positive Ergebnisse bringen, werden Nachfolgeprojekte gesucht. In Hirschstetten, Teilbezirk des 22ten Wiener Gemeindebezirkes Donaustadt, befindet sich die gleichnamige, bereits liquidierete, Erdölsonde Hirschstetten 5. Nur wenige Meter davon entfernt, steht die Gärtnerei Evelyne Bach. Berechtigterweise stellt sich die Frage ob ein Beheizen der Glashäuser und des Wohnhauses incl. Nebengebäude mittels Geothermie möglich bzw. sinnvoll ist. Mit dieser technischen Integration des Bohrlochwärmetauschers in das bestehende Heizsystem der Gärtnerei befasst sich die vorliegende Arbeit.



1.2 Zielsetzung

Nach einem kurzen Überblick über die geothermischen Möglichkeiten soll der Pilotcontainer in Prottes beschrieben werden, denn aus den Erfahrungen dieser Versuchsreihen kann die Möglichkeit zur Nutzung in Hirschstetten abgeschätzt werden.

In der Folge ist eine Darstellung des derzeitigen Heizsystems der Gärtnerei Evelyne Bach. Wie wird beheizt? Welche Temperaturen herrschen an welchen Stellen des Kreislaufes? Wie wird die Energieaufgabe geregelt? Wie viel Energie wird derzeit benötigt? Zusätzlich soll noch eine Wärmebedarfskurve aus einer objektiven Quelle erstellt werden.

Nachdem die Anforderungen des Abnehmers nun bekannt sein sollten, muss das Bohrloch in Hirschstetten als Geothermiesonde strukturiert und in weiterer Folge simuliert werden. Welche Einbauten sind hier zweckmäßig? Welche Leistung kann aus dem Bohrloch unter den vorgegebenen Bedingungen gewonnen werden? Welche Temperaturbereiche sind dabei zu erwarten?

Durch die Darstellung des Abnehmers und des Leistungspotentials der neu entwickelten Geothermiesonde werden Überlegungen über mögliche Integrationen von Bohrlochwärmetauschern in das bestehende Heizsystem darstellbar. Diese sollen erarbeitet und technisch sinnvoll, mit den Ergebnissen aus dem Pilotprojekt aus Prottes abgeglichen, dargestellt werden.



1.3 Vorstellung des Unternehmens¹

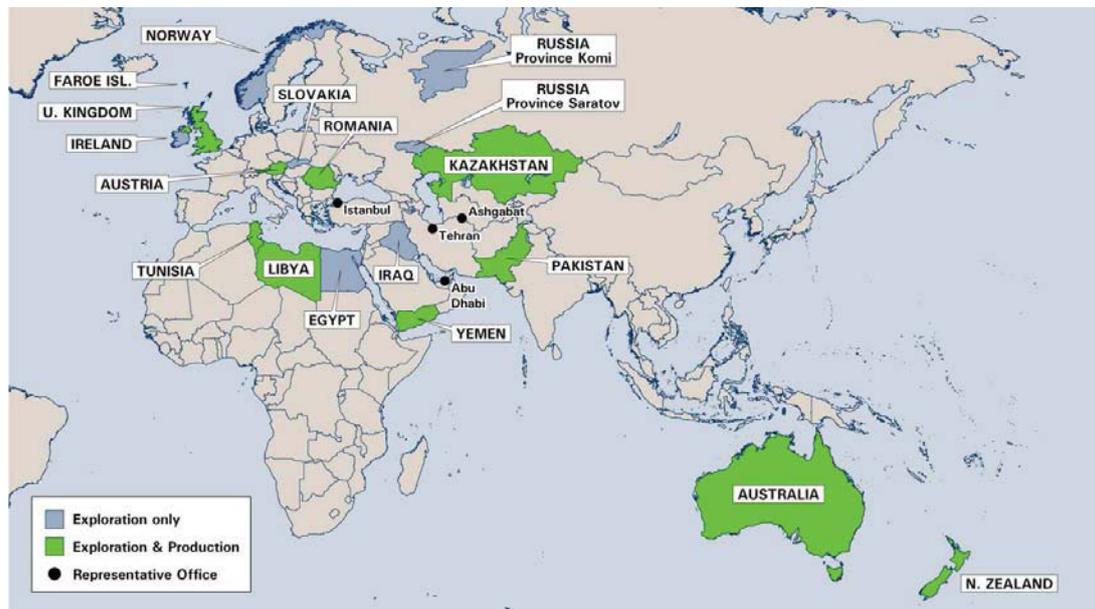


Abbildung 1.1: Einflussgebiete OMV

Die OMV (Österreichische Mineralölverwaltung Aktiengesellschaft) entstand 1956 aus der Sowjetischen Mineralölverwaltung (SMV) und avancierte im Laufe der Jahre zum führenden Öl- und Gaskonzern in Zentraleuropa. Besonders signifikant ist die Bedeutung des Konzerns im Bereich des Donaubeckens, in dem über 100 Millionen Menschen mit Heizöl, Treibstoff für das Auto (geschätzte 2500 Tankstellen in 13 Ländern Mittel- und Osteuropas) und anderen Produkten fürs tägliche Leben versorgt werden. Als Global Player ist die OMV jedoch auch außerhalb dieser Zone vertreten. Aktivitäten reichen von Südamerika (Venezuela) über Afrika (Libyen,...), Asien (Pakistan, Kasachstan,...) bis nach Australien.

Die OMV Aktiengesellschaft (Vorstand seit 1. Jänner 2002: Wolfgang Ruttenstorfer) kann als Dachgesellschaft folgender Bereiche gesehen werden:

- OMV Refining & Marketing
- OMV Exploration & Production
- OMV Gas
- OMV Solutions

Ziele des über 33.000 Mitarbeiter beschäftigenden Konzerns sind eine Ankurbelung der Erdölproduktion auf 500.000 boe/d (billion of oil equivalent per day) und eine Erhöhung der Fördermenge von Erdöl auf 20bcm (billion cubic meters) bis 2010.

¹ Vgl. Geschäftsbericht (2007)



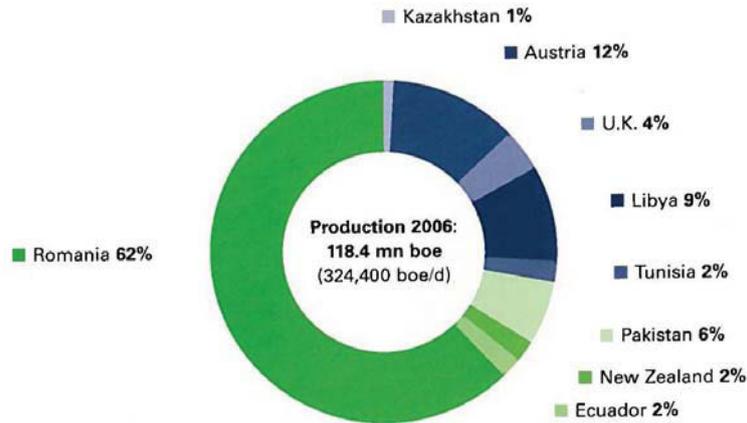


Abbildung 1.2: Produktion 2006

Als Vergleich wurden im Jahr 2006 324.000 boe/d (62% von Petrom, 12% Österreichische Felder der OMV) gefördert. Um dieses Vorhaben positiv bewältigen zu können, wurden in den vergangenen Jahren wichtige Investitionen getätigt. So wurde 2004 das rumänische Erdölunternehmen Petrom angekauft, was zu einer Verdreifachung der Erdöl- & Erdgasreserven bzw. –produktion führte. Durch Investitionen im Bereich der E&P soll die Produktion in Rumänien stabilisiert und in weiterer Folge gesteigert werden. Weiters wurden 2006 35% am Türkischen Mineralölunternehmen Petrol Ofisi erworben.

In den folgenden Jahren ist noch eine Unternehmensvergrößerung durch Erweiterungen im Bereich Kaspisches Meer und Russland geplant. In einer tragbaren Vergrößerung sieht die OMV den Schlüssel für eine erfolgreiche Beibehaltung der Unabhängigkeit.

Weiters soll die jährliche Raffineriekapazität auf bis zu 50 Millionen Tonnen erhöht werden. Zur Erreichung dieses Vorhabens wird die Nutzung der Aquisitionsmöglichkeiten von großer Bedeutung sein. Als ein zusätzliches Ziel bis 2010 wurde die Entwicklung eines profitablen Stromgeschäftes notiert.

Im Juni 2006 wurde der OMV Future Energy Fund realisiert. Dieser soll Projekte, die sich mit erneuerbarer Energie beschäftigen, unterstützen. Mit dem Aufwand von mehr als 100 Millionen Euro wird dadurch der Wechsel der OMV von einem reinen Öl und Gas zu einem übergreifenden Energieunternehmen mit erneuerbarer Energie im Portfolio forciert. Schwerpunkte sind dabei im Bereich Geothermie und Carbon Capture and Storage gesetzt.



2 Geothermie⁴

Die Geophysik beschäftigt sich im Allgemeinen mit der Physik des Erdkörpers. Da die Geothermie als Wärmelehre des Erdkörpers verstanden wird, kann sie als Teildisziplin der Geophysik beschrieben werden.

In der Geothermik geht es um die Temperatur im Erdinneren, die thermischen Gesteinseigenschaften und die terrestrische Wärmestromdichte. Allerdings werden die Begriffe Geothermie und Geothermik meist als gleichbedeutend angesehen.

Unter Erdwärme oder Geothermischer Energie versteht man die in der Erde gespeicherte Wärme. Dazu zählt die gesamte unter der Erdoberfläche befindliche Wärmeenergie, unabhängig von welcher Quelle diese stammt.

2.1 Erdwärme⁵

Die Erdwärme kann in zwei Teile gegliedert werden. Der Erste wird als Ur – Wärme oder Restwärme bezeichnet und hält einen ungefähren Anteil von 30% an der Gesamtwärme. Entstanden ist diese vor rund 5 Milliarden Jahren, als sich die Erde aus kosmischem Material formte. Durch Berechnung, mittels Alter der Erde und Wärmeleitfähigkeit, kommt man zum Schluss, dass diese Energie aus dem Erdkern noch nicht bis zur Oberfläche durchgedrungen ist.

Ein 70%iger und somit der größte Anteil der Erdwärme geht aus dem Zerfall radioaktiven Materiales hervor. Hauptbestimmend ist hierbei der Zerfall von Kalium, Uran und Thorium Isotopen.

Es hat sich im Laufe der Zeit die Unterscheidung zwischen oberflächennaher und tiefer Erdwärme durchgesetzt, wobei die Grenzen nicht einheitlich sind. Als Beispiel liegt diese in Deutschland bei 100m, in Österreich bei 300m und in der Schweiz bei 500m. Vor allem aus rechtlicher Sicht ist die Unterscheidung wichtig, da mit dem Überschreiten der Grenztiefe andere behördliche Verfahren durchzuführen sind.

⁴ Frühling (2007). S. 15.

⁵ Vgl. Kaltschmitt et al. (1995), S. 38.



2.2 Verfahren zur geothermischen Energiegewinnung⁶

Es wurden im Laufe der Zeit verschiedene Systeme/ Verfahren entwickelt um eine geothermische Energiegewinnung zu ermöglichen. Auch hier findet man wieder eine, durch die Tiefe bedingte, Unterscheidung:

- | | |
|-------------------|---|
| Oberflächennahe | <ul style="list-style-type: none">• Erdwärmekollektoren |
| Geothermie: | <ul style="list-style-type: none">• Erdwärmesonden• Energiepfähle• Koaxialbrunnen• Grundwasserbrunnen• Gruben- und Tunnelwassernutzung |
| Tiefe Geothermie: | <ul style="list-style-type: none">• Hydrogeothermale Vorkommen• Hot Dry Rock Verfahren• Tiefe Einzelsonden• Magmatische und Vulkanische Vorkommen• Verbundsysteme• Nutzung von Förderwasser bei der Erdölexploration |

Die Energie wird bei diesen Verfahren untertags entnommen und mittels eines Transportmediums zu Tage gefördert. Dort erfolgt dann über Wärmetausch eine Abgabe der Energie an den Verbraucher.

⁶ Interne Kommunikation OMV EP



2.3 Tiefe Einzelsonde

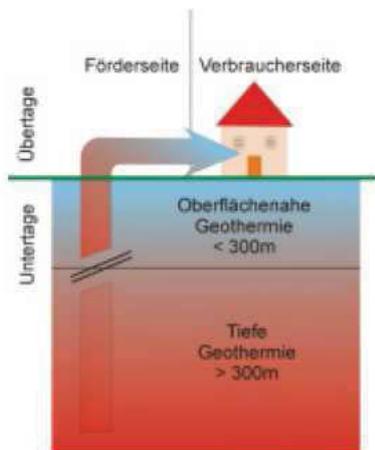


Abbildung 2.1: Grundprinzip geothermaler Nutzung⁷

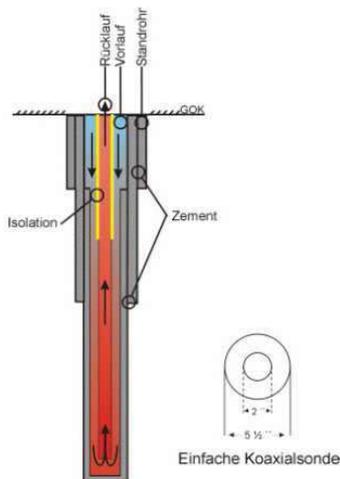


Abbildung 2.: Koaxialsonde⁸

Die Wärmeleitfähigkeit der die Lagerstätte umgebenden Gesteinsmassen, der Fördervolumenstrom, die Verluste bei der Förderung u.a. den Nutzen des Bohrlochwärmetausches.

Die Sonde soll Basisenergie liefern um im Winterbetrieb Abnehmer mit Wärme zu versorgen und im Sommer eventuell Absorptionskältemaschinen anzutreiben. Beim Einsatz als Kälteerzeugungstool muss die Medientemperatur über 55°C sein um regenerativen Strom erzeugen zu können.

Eine Hand voll positive Eigenschaften zeichnen die Tiefensondentechnologie aus:

Die OMV besitzt in Österreich 1000 Erdöl- und Erdgassonden mit einer Tiefe zwischen 300 – 6000 Metern. Jährlich werden um die 30 davon liquidiert. Um die ausgeförderten Sonden weiternutzen zu können werden durch den Future Energy Fund Projekte bezüglich Geothermie finanziert. Dabei sollen die entleerten Kohlenwasserstofflagerstätten zum Bohrlochwärmetausch genutzt werden.

Das Grundprinzip ist in Abbildung 2.1 und Abbildung 2. dargestellt. Kaltes Wasser wird über die Sonde als Vorlauf in die ehemalige Lagerstätte eingepumpt und dort vom umgebenden Erdreich erwärmt. Anschließend folgt ein zu Tage fördern als Rücklauf und eine Energie- bzw. Wärmeabgabe (über einen Wärmetauscher) an einen Verbraucherkreislauf. Die gewonnene Energie kann zur Versorgung von Haushalten und industriellen Betrieben verwendet werden.

Die Energieausbeute eines solchen Verfahrens ist von diversen Parametern abhängig. Entscheidende Auswirkungen hat die Tiefe der Sonde, denn mit einer Zunahme der Bohrung um 100 m erfolgt eine ungefähre Erwärmung um 3 – 4°C. Weiters beeinflussen die

⁷ Quelle: Stracke et al. (2003), S. 8.

⁸ Quelle: Stracke et al. (2003), S. 26.

- Der Wärmetausch ist ein geschlossenes System. Es kommt zu keinem Stoffaustausch mit der umliegenden Materie. Somit bleibt das Stoffgleichgewicht unberührt.
- Eventuelle Leckagen und der damit verbundene Eintritt des Wasser – Glykol – Gemisches sollten keine ökologischen Probleme bereiten, da das Glykol im Erdreich biologisch abbaubar ist.
- Die Bohrung hält einen Anteil von 50% an den Investitionskosten. Da die Sonde und das Bohrloch in diesem Fall durch die Erdöl- und Erdgasförderung bereits vorhanden sind, entfällt ein wesentlicher Kostenfaktor.
- Der Wärmetausch funktioniert theoretisch 24 Stunden pro Tag und da es an der Sonde zu praktisch keiner Abnutzung kommt kann das System langfristig genutzt werden.
- Im Vergleich mit anderen Verfahren zur Energieerzeugung kommt es zu vernachlässigbaren Wartungs- und Instandhaltungskosten.

Tabelle 2.1: In Betrieb stehende OMV Fördersonden im Raum Wiener Becken⁹

	Anzahl	Größte Bohrtiefe [m]	Kleinste Bohrtiefe [m]	Summe Bohrlochlänge [km]
Öl	971	6.333,05	351,65	1.587
Gas	193	6.009	544,99	357
Summe	1164			1944

Tabelle 2.1 zeigt die in Betrieb stehenden Fördersonden der OMV im Raum Wiener Becken. Die Bohrlochtiefen sind dabei zwischen 6.333m und 361m. In Abbildung 2.2 ist die Bohrlochtiefe über die Anzahl der Sonden aufgetragen. Daraus ist eine mittlere Teufe um geschätzte 1.800m ersichtlich.

⁹ Quelle: Stracke et al. (2003), S. 16.



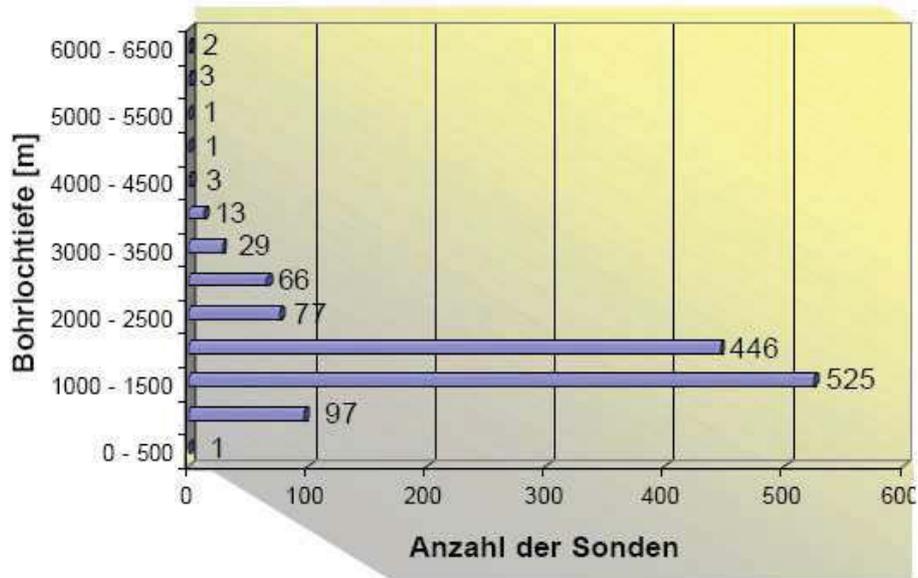
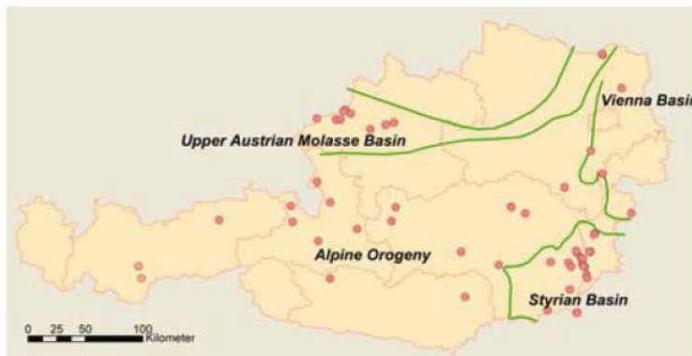


Abbildung 2.2: Anzahl der Fördersonden zu ihrer Tiefe¹⁰

2.4 Kostenüberblick und kurzer Kostenvergleich mit den herkömmlichen Alternativen mit den herkömmlichen Alternativen



Installierte Kapazität:
 61,4 MW thermisch
 1,2 MW elektrisch

Theo. Potential:
 2000 MW thermisch
 7 MW elektrisch
 (Quelle: Österreichische Energieagentur)

Abbildung 2.3: State, Possible Future Developments in and Barriers to the Exploration and Exploitation of Geothermal Energy in Austria¹¹

Die mögliche zukünftige Entwicklung der Erforschung und Nutzung geothermaler Energie in Österreich zeigt die Abbildung 2.3. Daraus ist deutlich ersichtlich, dass die installierte Kapazität sowohl thermisch als auch elektrisch das von der österreichischen Energieagentur angegebene theoretische Potential bei weitem noch nicht erreicht hat.

¹⁰ Quelle: Stracke et al. (2003), S. 16.

¹¹ Quelle: Thayer (2008), S. 2.



Tabelle 2.2: Investitionskosten für ein geothermisches Kraftwerk¹²

Investment in fixed assets geothermal power project	€	in %
Drilling	16.400.000	50,15
Kalina cycle power plant	10.400.000	31,80
Cooling (conditioning & piping)	1.800.000	5,50
Buildings (plant & cooling)	1.500.000	4,59
Pumps, including stand-by	1.600.000	4,89
Grid connection	200.000	0,61
Switchgear	300.000	0,92
Land	200.000	0,61
Outlying Structures	300.000	0,92
Total	32.700.000	100,00

Die Investitionskosten eines geothermischen Kraftwerkes sind in Tabelle 2.2 dargestellt. Dabei ist die Bohrung mit 50% der Hauptkostentreiber. Da es sich bei diesem Projekt um eine Sekundärnutzung des Bohrloches handelt, entfallen die Investitionskosten. Ein Fakt, der das Projekt erst lukrativ macht. Ein Drittel der Kosten fallen für das Kalina – Kreislaufprozess Kraftwerk an. Der Rest verteilt sich auf die Kostentreiber Kühlung, Einbauten, Netzanbindung, Schalteinrichtung, Landkauf und der Schaffung von Strukturen.

Ob sich die Investitionskosten für ein Geothermisches Kraftwerk oder für einen Bohrlochwärmtauscher langfristig gesehen auszahlen hängt von der Energieausbeute aus dem Bohrloch ab. Diese wird bestimmt durch die Faktoren Tiefe, Austauschfläche zwischen Wasser und Erdreich für den Wärmeübergang, dem Wärmeübergang (Wärmeleitfähigkeit,...) selbst, u.a. ab. Der geothermische Nutzen einer Sonde kann anhand eines Beispiels veranschaulicht werden:

- Eine 2.530 Meter Tiefe Sonde liefert ~ 269 kW Basisenergie.¹³
- Geht man von einer Anschlussleistung von 15kW pro Haus aus, können somit 18 Haushalte mit Energie versorgt werden.

Einen Kostenvergleich zwischen den Beheizungsmöglichkeiten Bohrlochwärmtausch, Gas und Öl sieht man in Abbildung 2.4. Grundlage bildet dabei eine Versorgung des Verbrauchers von 2000 Stunden. Der angenommene Preis für eine kWh aus Geothermie liegt bei 5 Cent. Gas und Öl sind mit 8,3 Cent und 11 Cent pro kWh deutlich teurer. Für die Versorgung der oben angeführten Häuser würde bereits ein Bohrloch mit:

$$P = \frac{64,5 \text{ MWh/a}}{2.000 \text{ h/a}} * 1.000 \text{ MWh/kWh} = 32,25 \text{ kW}$$

¹² Reifle T. (2008)

¹³ Simulation der Sonde Hirschstetten 5. Tinlet= 15°C ; Massenfluss= 2,8 kg/s



genügen.

Customer economics (2000 h supply)

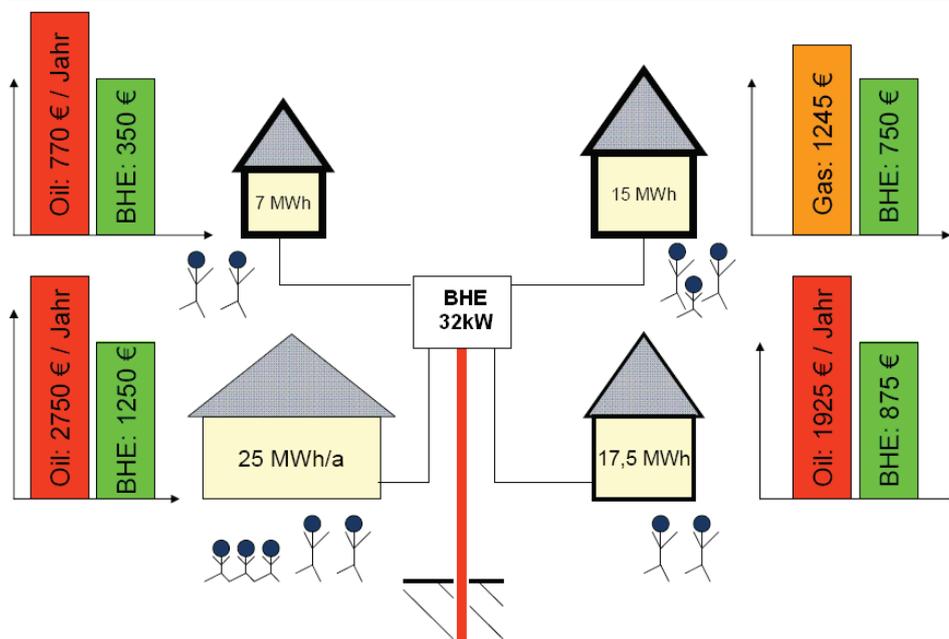


Abbildung 2.4: Vergleich zwischen BHE und Alternativen¹⁴

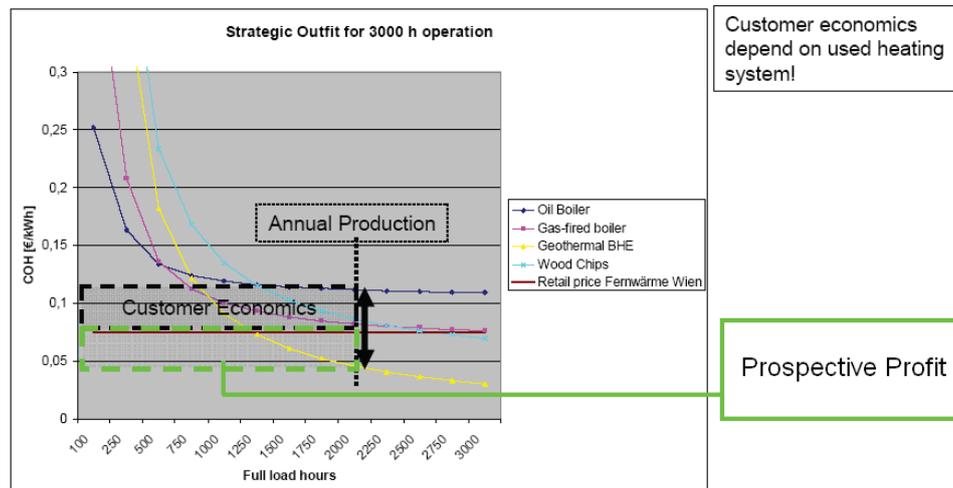


Abbildung 2.5: Wirtschaftlichkeit (discount time = 20 years, interests 6%)¹⁵

In Abbildung 2.5 werden die Kosten der Heizmedien pro kWh über die Volllaststunden dargestellt. Öl, Gas, Holz und die Geothermie haben durch den Einfluss der Abschreibung einen degressiven Kostenverlauf. Umso mehr Stunden das System im Einsatz ist, desto billiger wird eine Kilowattstunde. Der Preis für die von der Fernwärme zur Verfügung gestellten Energie ist konstant. Bei einer jährlichen Auslastung von 2.000 Stunden ergeben sich die bereits erwähnten Preise. Im Diagramm kann der Kostenvorteil der Geothermie gegenüber den Alternativen abgelesen werden.

¹⁴ Quelle: interne Kommunikation mit OMV EP

¹⁵ Quelle: interne Kommunikation mit OMV EP



3.1 Bohrlochwärmetausch weltweit^{16 17 18}

Auf Bohrlochwärmetauscher wurde weltweit bereits mehrfach zurückgegriffen. In Japan entziehen diese vulkansnahem Gestein Wärme und auch in Neuseeland nutzt man das hohe, durch den Ring of Fire verursachte, geothermische Potential.

Das in dieser Diplomarbeit beschriebene System ähnelt den Bemühungen in der Schweiz, Wärme geothermisch zu gewinnen, sehr stark. Bereits 1994 wurde z.B. in Weggis im Kanton Luzern ein aufgegebenes Bohrloch zu einem Wärmetauscher umgebaut. Die Leistung wurde von anfänglichen 40kW auf 200kW erhöht.

Im Bereich Bohrlochwärmetauscher pro m² (gesamt 10.000) ist die Schweiz weltweit führend. Vorteile der Technologie sind die Zuverlässigkeit über Jahrzehnte und der Fakt, dass eine Installation in praktisch jeder geologischen Umgebung möglich ist.

3.2 Auswirkungen auf die Umwelt¹⁹

Je nach Sondenart (Teufe und Konfiguration) ergibt sich ein CO₂ Einsparungspotential von ca. 80-150 t CO₂ pro Jahr und Sonde, sodass bei einem Projekterfolg ein Reduktionspotenzial von ca. 15.000-30.000 t CO₂ pro Jahr entsteht. Durch die geothermale Energiegewinnung der Pilotanlage Prottes Tief 11 (PT11) würde im Zeitraum von 04.06.09 bis 31.08.09 im Gegensatz zu einem Betrieb mit Erdgas, Heizöl (leicht), Heizöl (schwer), Steinkohle und Braunkohle, jeweils ca. 25.615 kg, 33.899 kg, 35.811 kg, 43.457 kg bzw. 47.535 kg weniger CO₂ produziert werden. Es besteht kein Risiko eines Massentransportes zwischen Gebirgsformation und Bohrlochwärmetauscher entlang des Bohrloches, da zwischen der Formation und dem Casing (äußeres Sondenrohr) kein Kontakt besteht. Das geologische Risiko intakter Bohrlochintegrität ist aufgrund des nicht bestehenden Kontaktes zu trinkwasserführenden Gebirgsschichten faktisch nicht gegeben.

3.3 Fazit und Ausblick 2012²⁰

Bei geplanten 100-200 Bohrlöchern mit einer spezifischen Leistung von 150-400 kW_{th}/Bohrloch ergibt sich ein theoretisches Gesamtpotenzial von ca. 15-80 MW thermischer

¹⁶ Quelle: Rybach (1995), S. 2133 – 2139

¹⁷ Quelle: Rybach (1992), S. 861 – 869

¹⁸ Quelle: Kohl (2002), S. 687 – 708

¹⁹ Rössler (2009), S. 55.

²⁰ Rössler (2009), S. 55.



Energie im Wiener Becken. Durch den Wärmefluss im Gebirge ist die Bohrlochwärmetauscherleistung im Durchschnitt auf ca. 65 mW/m^2 begrenzt. Mit fortschreitender Zeit nimmt die Wärmeentnahme des Bohrloches leicht ab und es stellt sich nach einer bestimmten Nutzungsdauer ein stationärer Zustand zwischen der Energieabnahme durch den Gebirgswärmefluss und durch die Sonde ein. Bis 2012 wird die Installation von ca. 2-3 MW thermischer Energie erwartet. Bei einem wirtschaftlichen Einsatz dieser Technologie, unter der Annahme sehr hoher fossiler Energiepreise, würden sich die Brennstoffkosten für Heizöl und Gas auf ca. 0,15 €Cent/kWh bzw. 0,12 €Cent/kWh belaufen. Die optimale Prozessoptimierung, Isolierungstechnik bzw. Materialeinsatz sowie die Integration in bestehende Wärmenetze (unter wissenschaftlicher Betreuung der Technischen Universität Wien), sind ausschlaggebende Kriterien bzw. Forschungsschwerpunkte, welche einen Projekterfolg gewährleisten. Eine große Herausforderung wird die Simulation dieser zukünftigen Wärmesenke der Bohrlochsonde für verschiedene Gebirgsformationen sein.



3 Technische Schwerpunktanalyse

3.4 Technische Beschreibung der Versuchsanlage Prottes

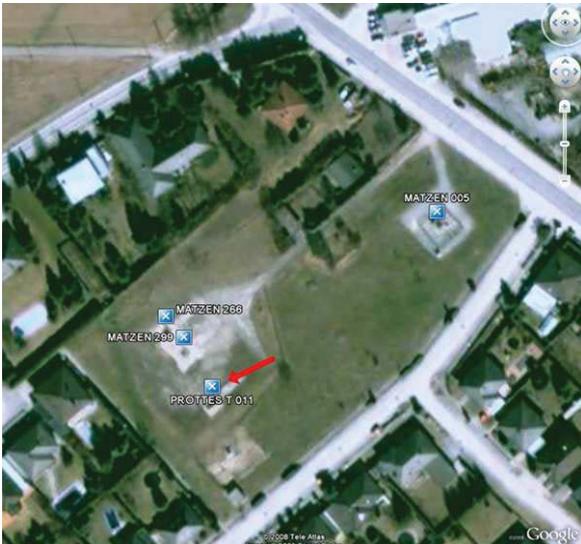


Abbildung 3.1: Lage der Sonde PT11

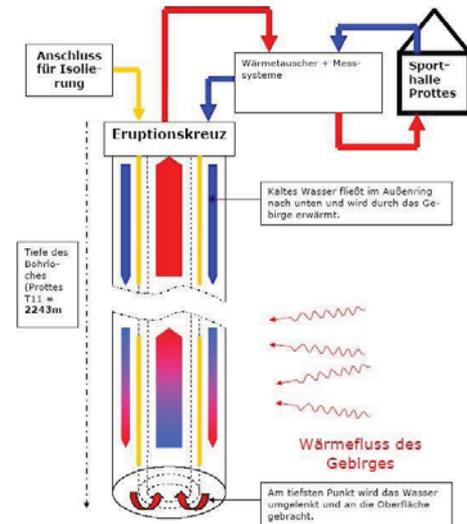


Abbildung 3.2: Prozessschema PT11

Die Sonde Prottes PT11 befindet sich in der gleichnamigen Marktgemeinde im politischen Bezirk Gänserndorf, Niederösterreich. Die Tiefe liegt bei 2230 Metern und die Bottom Hole Temperature beträgt 83°C.

Obige Abbildung zeigt die Lage der Sonde. Für die Gewinnung von Erdöl wurde diese bereits liquidiert. Um eine weitere Nutzung zu ermöglichen, laufen derzeit Projekte die Untersuchungen der Möglichkeit des Umbaus zu Borehole Heat Exchangern innehaben. Dazu wurde ein „Container“ konzipiert, in dem alle dazu nötigen technischen Tools enthalten sind. In diesen wird das Wasser/Glykol - Gemisch von der Sonde hineingepumpt bzw. nach dem Wärmetausch wieder in abgekühlter Form in das Erdreich zurückgeführt. Das Erdreich erwärmt das Heizmedium anschließend wieder und der Kreislauf beginnt erneut.

Im Prozessschema der Sonde PT11 ist zu erkennen, dass derzeit die Beheizung einer Sporthalle geplant ist. Als Alternative käme auch noch die Beheizung der umliegenden Häuser in Frage. Siehe Abbildung 3.1.

3.5 Beschreibung des Containers



Abbildung 3.3: Sonde



Abbildung 3.4: Sonde - Container



Abbildung 3.5: Container (innen)

Obige Abbildungen zeigen den Seecontainer High Cube in schwerer Ausführung, dessen Außenwand aus Schallschutzgründen mit einer 50mm dicken Mineralwollschicht isoliert ist.

Die Bestückung des Containers ist als R & I Schema in Abbildung 3.6 dargestellt. Das Herzstück ist ein Plattenwärmetauscher, in dem die Energie vom Primärkreislauf (grün) an den Sekundärkreislauf (rot) übertragen wird. Als Primärkreislauf wird der Sondenkreislauf bezeichnet. Dabei wird das warme Fördermedium mittels Pumpe in den Container gefördert. Im Versuchscontainer wurden zwei Kreiselpumpen (aus Edelstahl; DPVSF10 – 90) montiert, wobei aber immer nur eine läuft. Die zweite ist parallel als Ersatz für einen Störfall vorgesehen.

Nach erfolgter Energieübertragung an den Sekundärstrom verlässt das Wasser – Glykol Gemisch den Container und wird erneut über die Sonde in das Erdreich eingebracht um dort wieder aufgeheizt zu werden.

Als Sekundärkreislauf wird der Abnehmerkreislauf bezeichnet. Im Versuchsbetrieb simuliert ein Rückkühler diesen. Das nach dem Wärmetausch energiereiche Heizmedium wird über die Pumpe P3 in den Rückkühler gepumpt. Dort entziehen Ventilatoren dem Wärmeträgerstrom mittels erzwungener Konvektion Energie. Durch das Einpumpen des abgereicherten Heizmediums in den Wärmetauscher schließt sich der Sekundärkreislauf.

Tabelle 3.1 zeigt die Messprinzipien zur Druck, Temperatur und Durchflussbestimmung. Vor allem das Wissen über die Temperatur und des Durchflusses ist von großer Bedeutung. Denn die Faktoren Massenstrom des Primärkreislaufes und die Temperaturdifferenz vor und nach dem Wärmetauscher primärkreislaufseitig bestimmen die an den Abnehmer abgegebene Wärmeleistung:

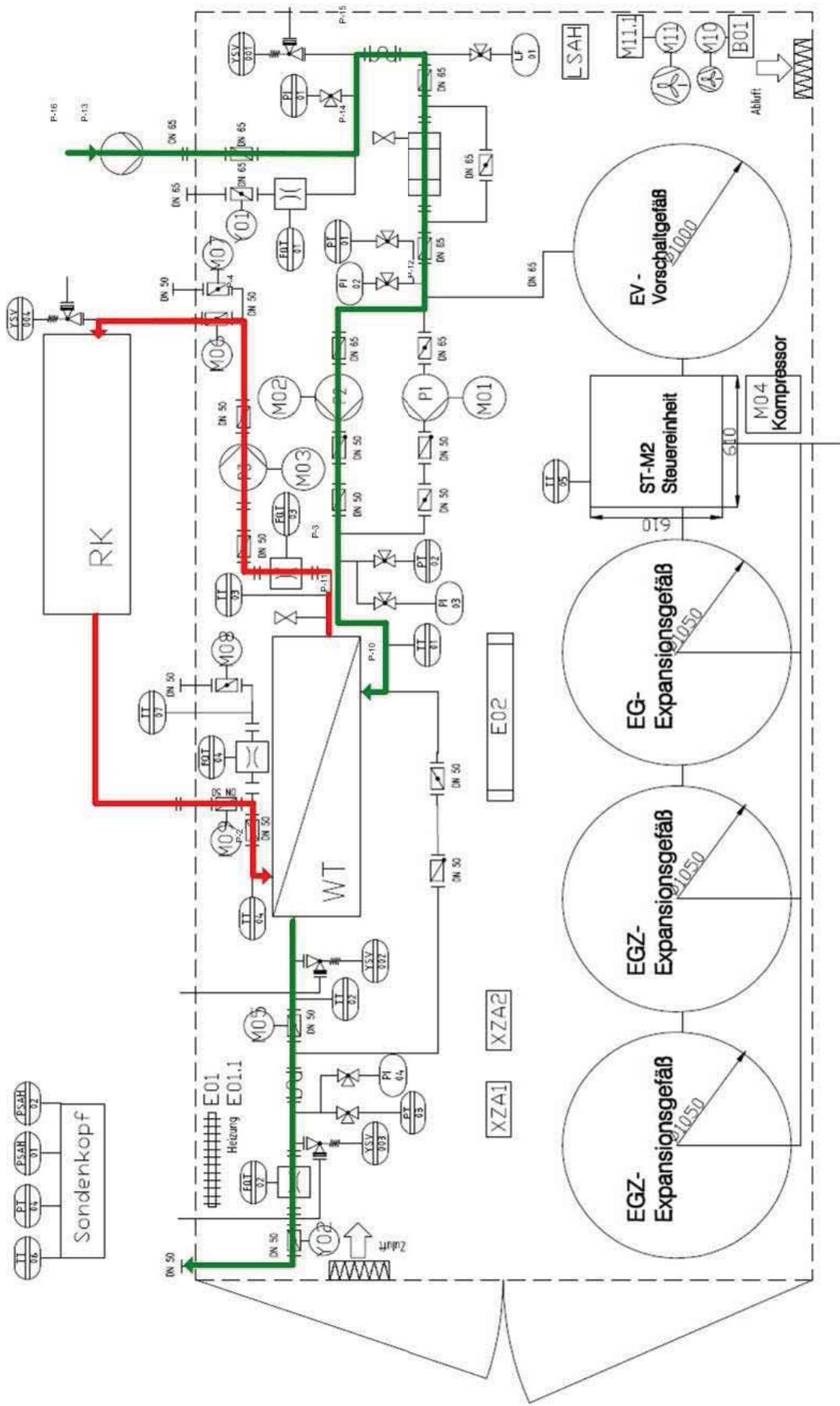


Abbildung 3.6: R& I Schema Container



$$P = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (3.1)$$

Tabelle 3.1: Messprinzipien Druck, Temperatur und Durchfluss

	Firma	Produkt	Messprinzip
Durchflussmessung	Emerson	Rosemount 8732	Magnetisch induktives Durchfluss – Messsystem
Drucktransmitter	Emerson	3051T	Kapazitive Messzelle
Temperaturmessung	Endress + Hauser	PT – 100 Widerstandsthermometer	Zweidrahtmessumformer

Um eventuelle Druckschwankungen ausgleichen zu können wurde eine Expansionsanlage der Firma Eder eingebaut. Diese besteht aus einer ELKO – MAT ST-M2 Steueranlage, 3 Expansionsgefäßen (Max. Betriebstemperatur: +70°C, max. Ausdehnungsvolumen: 1500 Liter und max. Betriebsdruck: 0,5bar) und einem Vorschaltgefäß zur Abkühlung des Expansionsmediums. Durch das Vorschaltgefäß (max. Betriebsdruck 10bar, max. Temperatur +110°C) kann mit einer höheren Prozesstemperatur ohne Beschädigung der Anlage gefahren werden.

3.6 Borehole Heat Exchanger Prottes PT11

Um das Leistungspotential des Bohrloches abschätzen zu können, wurde von der Arge Geothermie unter der Federführung der OMV EP ein Excel Tool angefertigt. Es folgte eine Anpassung auf den Bohrlochwärmetausch Prottes PT11. Ein Auszug befindet sich im Anhang.

Die wichtigsten Eingabeparameter sind:

- **Outer Tube:**

Der Bereich Outer Tube beschreibt das Casing. Der Durchmesser da_2 steht daher im Sheet für den Wert des Außendurchmessers des Ringspaltes, durch den das Heizmedium ins die Tiefe gepumpt wird. Der Wert für sa_{23} gibt Auskunft über die Stärke der Casingzementation und der Wert da_4 steht für den Durchmesser des gesamten axialen Betrachtungsraumes.

- **Inner Tube:**

Inner Tube steht für die beiden eingebauten Koaxialrohre. Der Außendurchmesser di_3 kennzeichnet die Breite des äußeren Rohres. Si_{23} ist die Summe der Wandstärken der Koaxialrohre und si_{12} gibt die Dicke der zwischenliegenden



Isolationsschicht an. Den Durchmesser des innersten Rohres, durch das das Heizmedium wieder zu Tage gefördert wird, erhält man durch Subtraktion der Wandstärken und der Isolationsschichtbreiten vom Außendurchmesser.

- **Nodes**

Das Bohrloch wird in Teilbereiche gesplittet. Einerseits wird der Strang in z-Richtung mehrmals unterteilt. Die Anzahl der dadurch erhaltenen „Scheiben“ kann im Eingabefeld für Nodes (z-dir) bestimmt werden. Nodes (r-dir) beschreibt die Menge an Unterteilungen in Radialrichtung. Jedes Teilsegment wird einzeln betrachtet und anschließend erstellt das Programm eine Gesamtsimulation über das gesamte Bohrloch.

- **Sonde + Umgebung**

Neben den Wärmedurchgangskoeffizienten, der kinematischen Viskosität und der spezifischen Wärmekapazität hat vor allem die Erdtemperatur einen substantziellen Einfluss auf die zu erwartende Temperatur des Heizmediums und somit auf die Leistung des Bohrloches. Die Erdtemperatur nimmt pro 100 m um ca. 3°C zu. Die Temperaturzunahme kann als gute Näherung linear im Programm eingegeben werden. Im Fall der Simulation der Sonde Prottes PT11 wurden beim Einbau die Temperaturen in bestimmten Tiefen gemessen. Diese sind bei der Simulation daher exakt. Nur die Temperaturschritte dazwischen werden interpoliert.

- **Massenfluss + Inlet Condition**

Nach erfolgter Eingabe der Tubing sizes, Casing size und den durch das Bohrloch vorgegebenen Werten, verändert man zur Simulation des Leistungsvermögens des Bohrloches hauptsächlich die Komponenten T_{inlet} , m und T_{amb} . T_{inlet} beschreibt die Temperatur am Bohrlocheintritt, bevor eine Erwärmung durch die Felsformation stattfindet. Sie ist abhängig von der Leistungsentnahme (z.B. über den Wärmetauscher), der Ausgangstemperatur aus dem Bohrloch und dem Massenstrom des Heizmediums.

Die vom Programm berechneten Simulationsergebnisse sind:

Das Programm unterscheidet zwischen 4 Temperaturen. Jeweils zwei beziehen sich auf den Innentube bzw. Außentube. Der Unterschied zwischen der Innentemperatur und der Außentemperatur eines Tubes wird durch die isolierende Wirkung des Stahlrohres begründet.



Ein großer Sprung ist zwischen den Temperaturen am Innentube und jenen am Außentube erkennbar, da sich die Isolierung zwischen den Tubes befindet. Umso größer diese Differenz ist, desto zufriedenstellender für den Betreiber, da die Isolierung somit funktioniert und die Verluste dadurch geringer sind.

Der Wärmefluss von der Erde beschreibt den Leistungsinput des Erdreichs in den Heizmediumstrom. Die ersten Meter nach der Eingabe ins Bohrloch ist dieser Strom negativ. Es erfolgt also eine Wärmeabgabe vom Medium ins Erdreich. Ab einer gewissen Tiefe stellt sich aber der erhoffte Effekt ein. Der Wert wird positiv und das Erdreich erhitzt den Wärmestrom.

Der Parameter Q beschreibt den mit den angegebenen Eingaben und Umständen zu erwartenden Leistungsoutput.

- **Temperaturverlauf über Zeit**

Ist der Betrieb der Anlage eingestellt, kommt es zu einer Regeneration des Bohrloches. Die Temperatur des Mediums am Bottom Hole steigt auf einen durch die Tiefe festgelegten Wert. Wird die Anlage angefahren, ist die zu erwartende Temperatur des zutage geförderten Heizmediums hoch und nimmt anschließend ab. Bei einem bestimmten Wert pendelt sich die Temperatur ein. Selbiges gilt für die zu erwartende Leistung. Bei welchem Wert sich Temperatur und Leistung einpendeln hängt hauptsächlich vom Wärmeübergang in den tiefen Gesteinsschichten, Vorlauftemperatur und Massenfluss ab.

Die Temperatur- und Leistungsentwicklung wurde im Excel Sheet auch in Form diverser Diagramme dargestellt. Ebenso wurden die Temperaturverläufe radial gesehen in verschiedenen Bohrlochtiefen aufgearbeitet.

Um den Einfluss der Faktoren Vorlauftemperatur (vom Bohrloch kommend), Rücklauftemperatur (in das Bohrloch), thermische Leistung und Durchfluss (Massenstrom) untereinander zu veranschaulichen, wurde im Testbetrieb verschiedene Szenarien durchsimuliert und die Ergebnisse als Excel Diagramm ausgewertet.

In Abbildung 3.7 ist der Zusammenhang zwischen Vorlauftemperatur und Rücklauftemperatur bei verschiedenen Massenströmen dargestellt. Eine höhere Vorlauftemperatur führt dabei zu einer höheren Rücklauftemperatur. Erklären kann man diesen Effekt anhand der Leistungsbilanz. Jede Linie im Diagramm geht von einem konstanten Massenstrom aus.



In folgender Abbildung 3.8 wird die thermische Leistung des Bohrlochs über die Rücklaufemperatur gestellt. Die Vorlaufemperatur ändert sich nach einer bestimmten Anlaufzeit nur in einem geringen Spektrum. Wenn der Massenstrom konstant bleibt, steigt demnach das thermische Leistungspotential bei geringerer Rücklaufemperatur. Die Rücklaufemperatur ist sehr stark von der Außentemperatur abhängig.

Abbildung 3.9 stellt die Vorlaufemperatur über den Durchfluss mit verschiedenen Rücklaufemperaturen dar. Mit steigendem Massenstrom steigt zuerst auch die Vorlaufemperatur. Der Heizmittelstrom ist am Bohrlochgrund am wärmsten. Beim zu Tage fördern gibt dieser höherenergetische Strom Wärme an den niederenergetischen Rücklaufstrom bzw. an die oberflächennäheren niederenergetischen Gesteinsmassen. Wird schneller gefördert, ist die Kontaktzeit geringer und somit ergibt sich eine höhere Vorlaufemperatur. Bei weiterer Erhöhung des Massenstromes sinkt die Temperatur am Bottom Hole, da nicht mehr genügend Wärme nachgeliefert werden kann um die Temperatur im Strom zu halten.

In Abbildung 3.10 wird die thermische Leistung über den Durchfluss mit verschiedenen Rücklaufemperaturen dargestellt. Mit steigendem Durchfluss steigt die thermische Leistung. Der Grund dürfte wieder an der Minimierung der Verluste durch die Förderung liegen. Ab einem bestimmten Zeitpunkt nähert sich die thermische Leistung einem Maximalwert. Das Bohrloch kann nicht mehr Leistung liefern, da der Wärmeinput durch das umgebende Gestein zu gering ist.



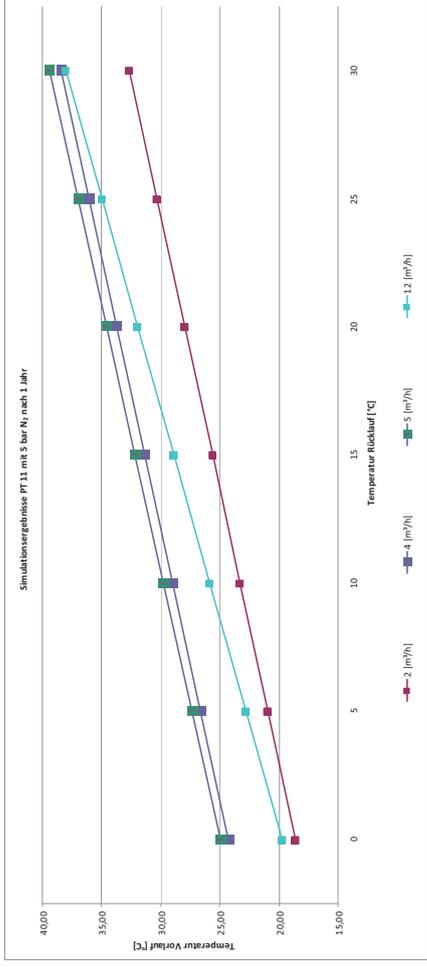


Abbildung 3.7: Vorlauftemperatur über Rücklauftemperatur

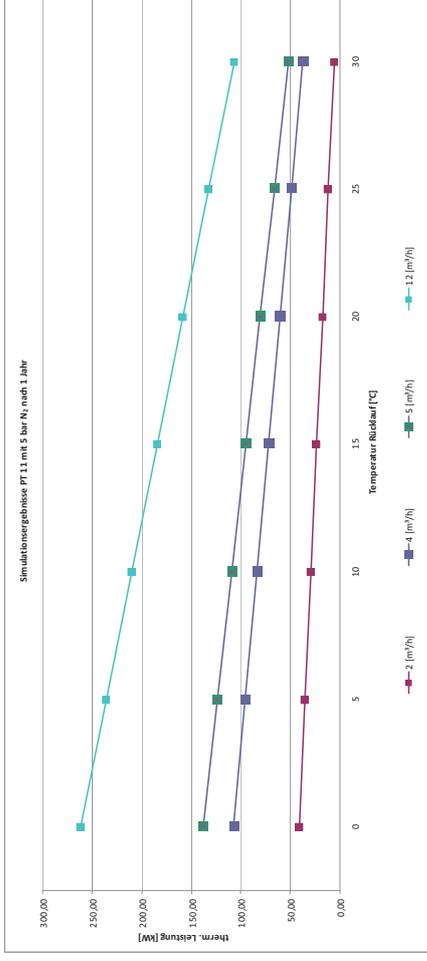


Abbildung 3.8: Thermische Leistung über Rücklauftemperatur

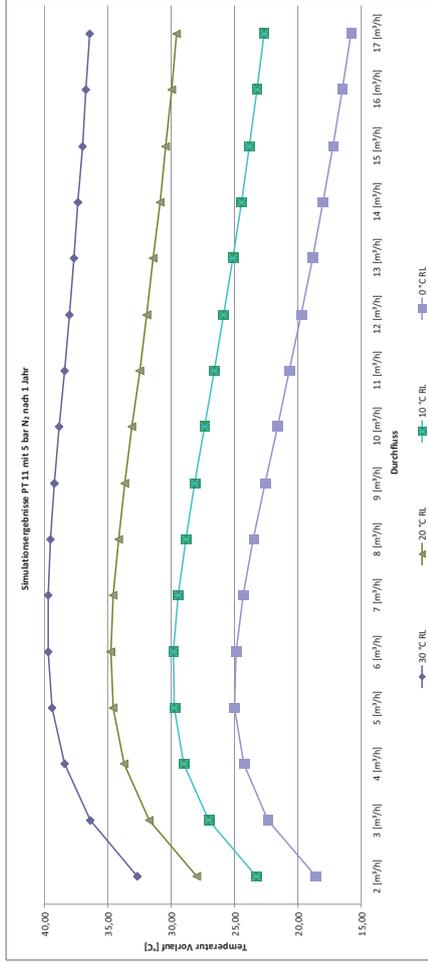


Abbildung 3.9: Vorlauftemperatur über Durchfluss

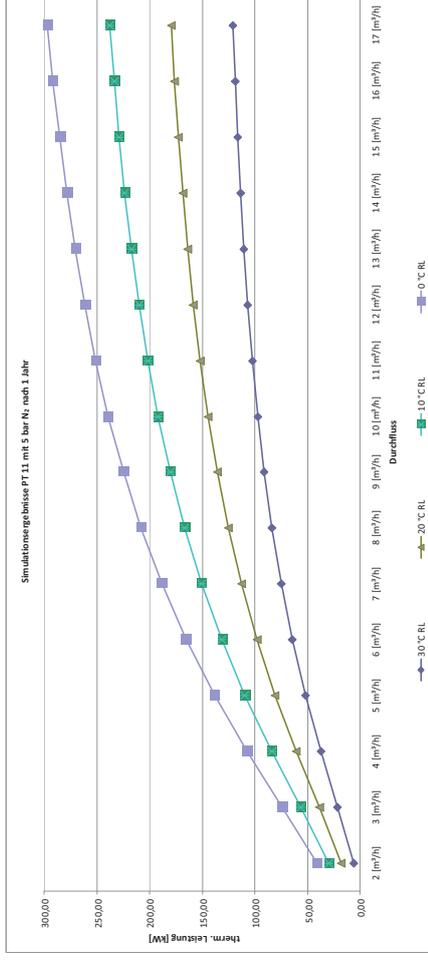


Abbildung 3.10: Thermische Leistung über Durchfluss



3.7 Wärmeleistung BHE Prottes T11

Das Bohrloch wurde im vorigen Kapitel durchsimuliert. Sinn der Pilotanlage Prottes PT11 ist es nun die theoretisch gewonnenen Erkenntnisse im Feldversuch auf ihre Richtigkeit zu prüfen um die Sinnhaftigkeit von Folgeprojekten abzuschätzen. Dazu wurde der bereits erwähnte Container konzipiert und im ebenfalls bereits erwähnten Prozessschema eingebaut.

Aufgezeichnet werden diverse Temperaturen und Durchflüsse, wobei aber vor allem die Vorlauftemperatur, die Rücklauftemperatur, die Sondenbodentemperatur und der Durchfluss von großer Bedeutung sind. Denn damit kann die erhaltene Leistung dargestellt werden und deren Einfluss auf das Bohrloch. Als Grundlage für Wärmeübergabe gilt wieder die Formel (3.1). Der eigentliche Probebetrieb begann am 4. Juni 2009. Vorher wurde das System kennengelernt. Betrachtet man den Verlauf der Vorlauftemperatur, Rücklauftemperatur und des Durchflusses aus Abbildung 3.11 so ist ein einpendeln auf einen Wert erkennbar. Die Rücklauftemperatur bewegt sich um 30°C, die Vorlauftemperatur um 42°C und der Massenstrom des Heizmediums um 5m³/h. Folgend kann eine Entzugsleistung von:

$$P = m * c_p * \Delta T = 1,30 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] * 3,93 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right] * 12 [\text{K}] = 65,5 \text{ kW}$$

berechnet werden. Diese Leistung wurde nicht zufällig gewählt. Der Wert entspricht ungefähr der Entzugsleistung für 3 Gaswärmepumpen aus erneuerbarer Energie bei paralleler Schaltung.

Die grüne Linie im Diagramm stellt die Sondenbodentemperatur dar. Der Simulation nach hat die Erdformation eine Temperatur von 83°C. Nach dem Anfahren der Anlage beginnt die Temperatur zu sinken. Bis sie sich um 60°C einpendelt. Ab diesem Zeitpunkt stellt sich ein Gleichgewicht zwischen aus dem Erdreich nachkommender Wärme und der durch den Prozess entzogenem Wärme ein.

Der Temperaturunterschied zwischen dem Vorlauf und dem Rücklauf ist durch die Wärmeleistungsabgabe im Wärmetauscher begründet. Nun wäre noch die Differenz zwischen Vorlauftemperatur und Sondenbodentemperatur des Kreislaufes zu betrachten. Die Erdtemperatur am Sondenboden ist deutlich größer als jene 100 Meter unter der Oberfläche oder an der Oberfläche. Der Heizmittelstrom ist demnach ab einer gewissen Tiefe auch wärmer als das Erdreich und somit kommt es zu einem ungewollten Wärmetausch in Gegenrichtung, der selbst durch sehr gute Isolation nicht verhindert werden kann.



Daten Prottes T 11 - Juni 2009

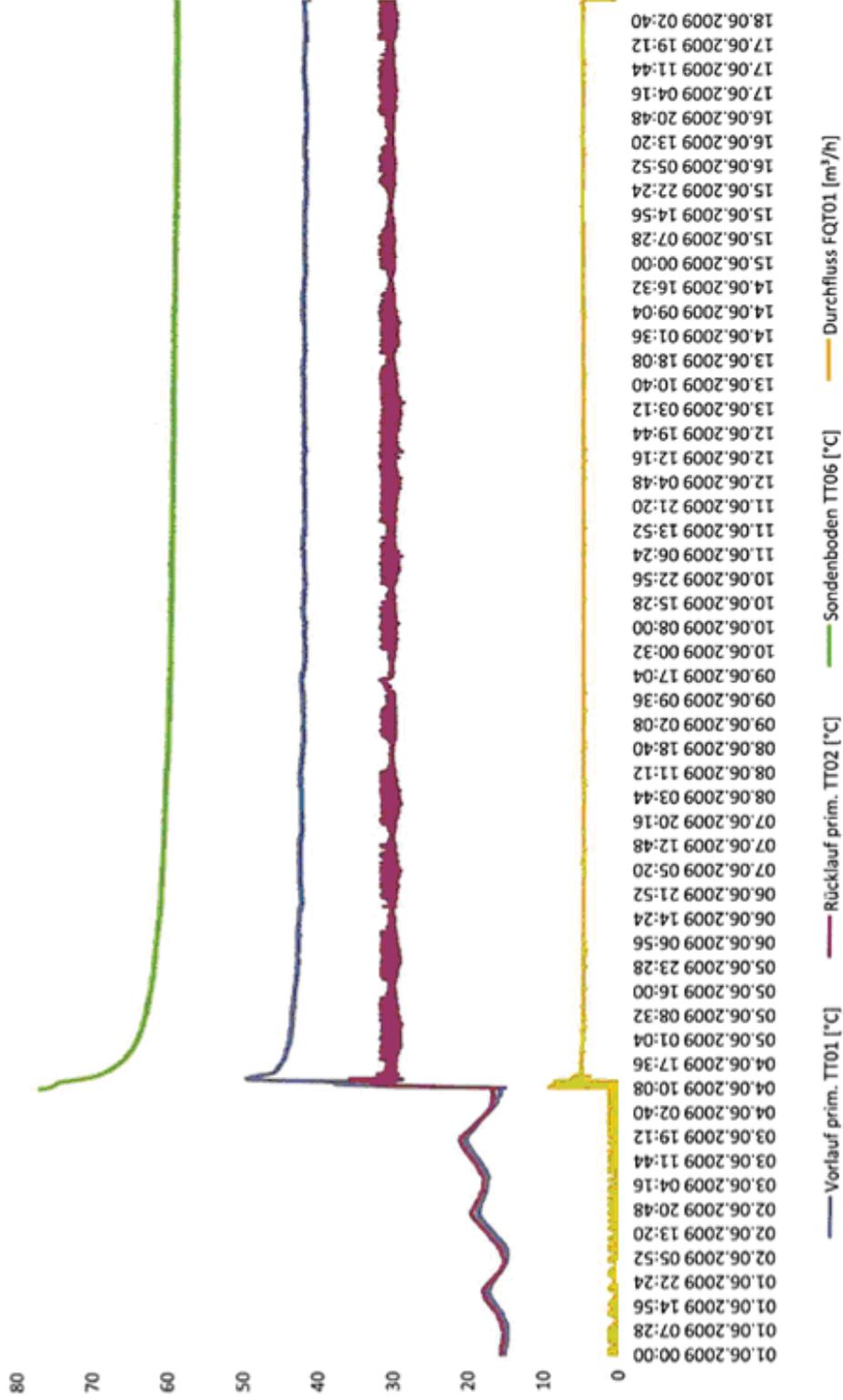


Abbildung 3.11: Wärmeleistungsverlauf 4.06-18.06



3.8 Geplante Nutzung Sonde PT11

Wie bereits in Kapitel 3.4 erwähnt, steht hinter dem Projekt der Plan die Sporthalle Prottes zu beheizen. Das Verfahren dazu ist in Abbildung 3.1 in Fließbildform dargestellt.

Der Plan kann grundsätzlich in 3 Kreisläufe unterteilt werden. Kreislauf 1 umfasst den Warmwasserstrom des Hauptwärmetauschers mit dem Bohrloch und dem Container. Eine Beschreibung des Prozesses ist in den vorigen Kapiteln nachzulesen.

Der Kaltwasserstrom wird nach dem Aufheizen im Wärmtauscher derzeit im Pilotbetrieb zum Condenser 1 geschickt. Der Condenser 1 ist in diesem Fall ein Rückkühler (Radiator), der Wärme an die Umgebung abgibt und somit einen Abnehmer simuliert. Nach der Abkühlung gelangt der Strom erneut in den Wärmetauscher und schließt den Kreislauf.

So soll der vom Austausch erwärmte Strom 3 die Quelle aus erneuerbarer Energie für 3 Gaswärmepumpen darstellen. Die Gaswärmepumpen speisen in weiterer Folge einen Schichtkessel mit Warmwasser.

Der Schichtkessel stellt die Schnittstelle zwischen dem Kreislauf, den Gaswärmepumpen und dem eigentlichen Heizkreislauf dar. Warmes Heizmedium (hier: Wasser) wird dem Schichtkessel entzogen und zum Aufheizen eines Boilers verwendet, welcher den Abnehmer mit Warmwasser versorgt. Aus wärmetechnischer Sicht wäre eine direkte Versorgung der Sporthalle mit warmem Brauchwasser durchaus denkbar.

Der größte Teil des Schichtkesselwarmwassers wird jedoch zur Beheizung des Gebäudes verwendet.

Im Verfahrensfließbild ist noch ein Peak load burner eingeplant. Sollte zu Spitzenlastzeiten die Leistung der Gaswärmepumpen nicht mehr ausreichen, kann auf den Brenner zurückgegriffen werden.

Nun gilt es noch die Bedeutung des Condensers 2 zu erläutern. Kommt es zu einem geringen Leistungsentzug aus dem Schichtkessel, steigt die Temperatur des austretenden Kaltwasserstromes an. Dadurch würden die Gaswärmepumpen nicht mehr ordnungsgemäß funktionieren. Ist dies der Fall wird über einen Wärmetauscher dem Kaltwasserstrom Wärme entnommen, die anschließend über den Condenser 2 abgegeben wird. Dieser Fall wird im Winterbetrieb, wenn überhaupt, nur kurz eintreten. Wichtig wird dieser Prozess im in der Folge erwähnten Sommerbetrieb.



Das Verfahren ist weiters in einem Energieflussdiagramm dargestellt. Den obersten Teil bildet dabei die aus dem Bohrloch entziehbare Leistung von 125kW. Genutzt können davon aber nur etwa 80% werden. Grund für die Verluste sind Wärmebrücken in der Isolierung und Wettereinflüsse. Umso kälter die Umgebungstemperatur ist, desto mehr Leistung erhält man aus dem Bohrloch, da die Rücklauftemperatur geringer wird.

Der nächste Energieverlust ergibt sich mit etwa 5% am Wärmetauscher. Wie bereits erwähnt wird im derzeitigen Probetrieb die Energie an die Umgebungsluft abgegeben. Für die Sporthalle Prottes sind 3 Gaswärmepumpen geplant. Der Rest der Leistung wird vorerst, bis weitere Abnehmer über einen zweiten bzw. dritten Kreis mit Wärme versorgt werden können, wieder über den Rückkühler an die Umgebung abgegeben. Allerdings gibt es derzeit schon Überlegungen, wie man mit einer geschickten seriell – parallele Kombination von Gaswärmepumpen die gesamten 100 kW auf einmal nutzen könnte. Die Problematik steckt allerdings in der Regelungstechnik und im Fakt, dass von den Gaswärmepumpenherstellern für solche Schaltungen keine Garantie bezüglich Funktionalität gegeben wird.

Jede Gaswärmepumpe benötigt zum Austreiben des Kältemittels eine mittels Gasbrenner zur Verfügung gestellte Leistung von 25kW. In Kombination mit der zugeführten erneuerbaren Energie erhält der Abnehmer eine Leistung von ~40kW.

Die Beheizung der Sporthalle macht aus temperaturtechnischen Gründen nur im Winter Sinn. Um die Gaswärmepumpen auch im Sommer nutzen zu können, wird ein Kühlen der Sporthalle in Betracht gezogen. Im Winterbetrieb wurde dem Bohrloch Wärme entzogen um zu heizen. Im Sommerbetrieb wird versucht der Sporthalle Wärme zu entziehen. Im Verfahrensbild Sommer steht nun die Sporthalle auf der die Gaswärmepumpe mit Energie versorgenden Seite. Diese nimmt ~20kW pro GWP auf und gibt 40kW an den Strom zum Schichtkessel ab. Das produzierte Warmwasser kann als „Warm water supply“ zum duschen, etc. verwendet werden. Der im Winterbetrieb kaum in Verwendung stehende Kreislauf um den Condenser 2, erfährt im Sommerkreislauf große Bedeutung. Es wird viel mehr Wärme durch die Kühlung produziert, als genützt. Nach Verwendungszwecken wird zwar gesucht, bis sich aber eine sinnvolle Lösung findet, wird die Energie aber ungenützt an die Umgebung abgegeben.

Für den Sommerbetrieb wurde ebenfalls ein Energieflussdiagramm erstellt. Als Wärmeleistungslieferant ist die Sonne abgebildet, welche 0,8 – 1 kW/m² liefert. Diese führt der Sporthalle die Wärme zugeführt, welche in weiterer Folge wieder abgeführt werden soll. Der Radiator entnimmt 54kW bei maximaler Entzugsleistung. Eine geringere Entnahme ist möglich. Der Maximalwert wird durch die Gaswärmepumpen limitiert. Den



Gaswärmepumpen müssen wiederum 75kW Energie aus Gas zugeführt werden um den Kältemitteldampfstrom im Absorber auszutreiben. Die 3 Pumpen liefern abermals 120kW, die sofern sie nicht zur Warmwassererzeugung genutzt werden, an die Umgebung abgegeben werden.

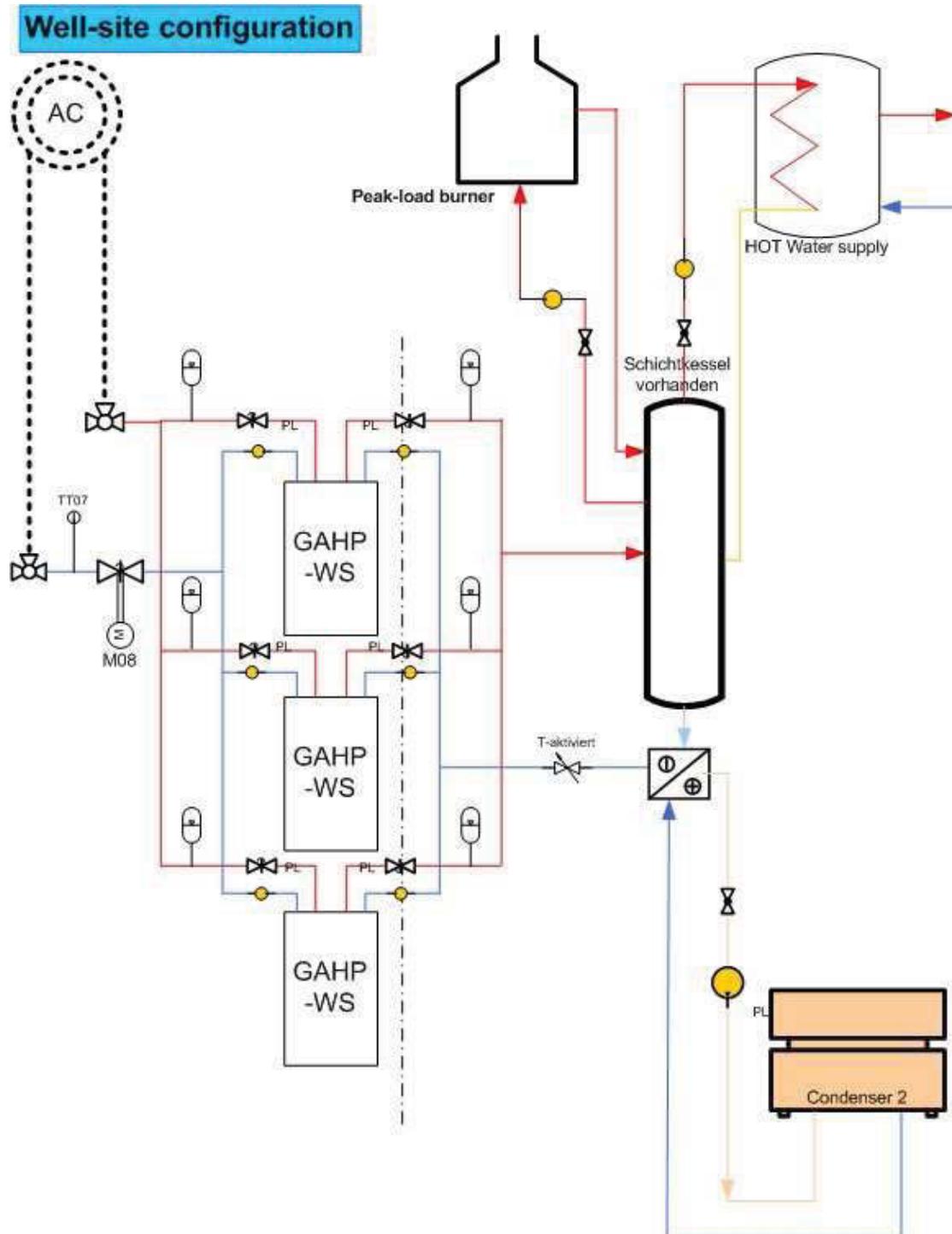


Abbildung 3.12: Verfahrensfließbild Sommerbetrieb

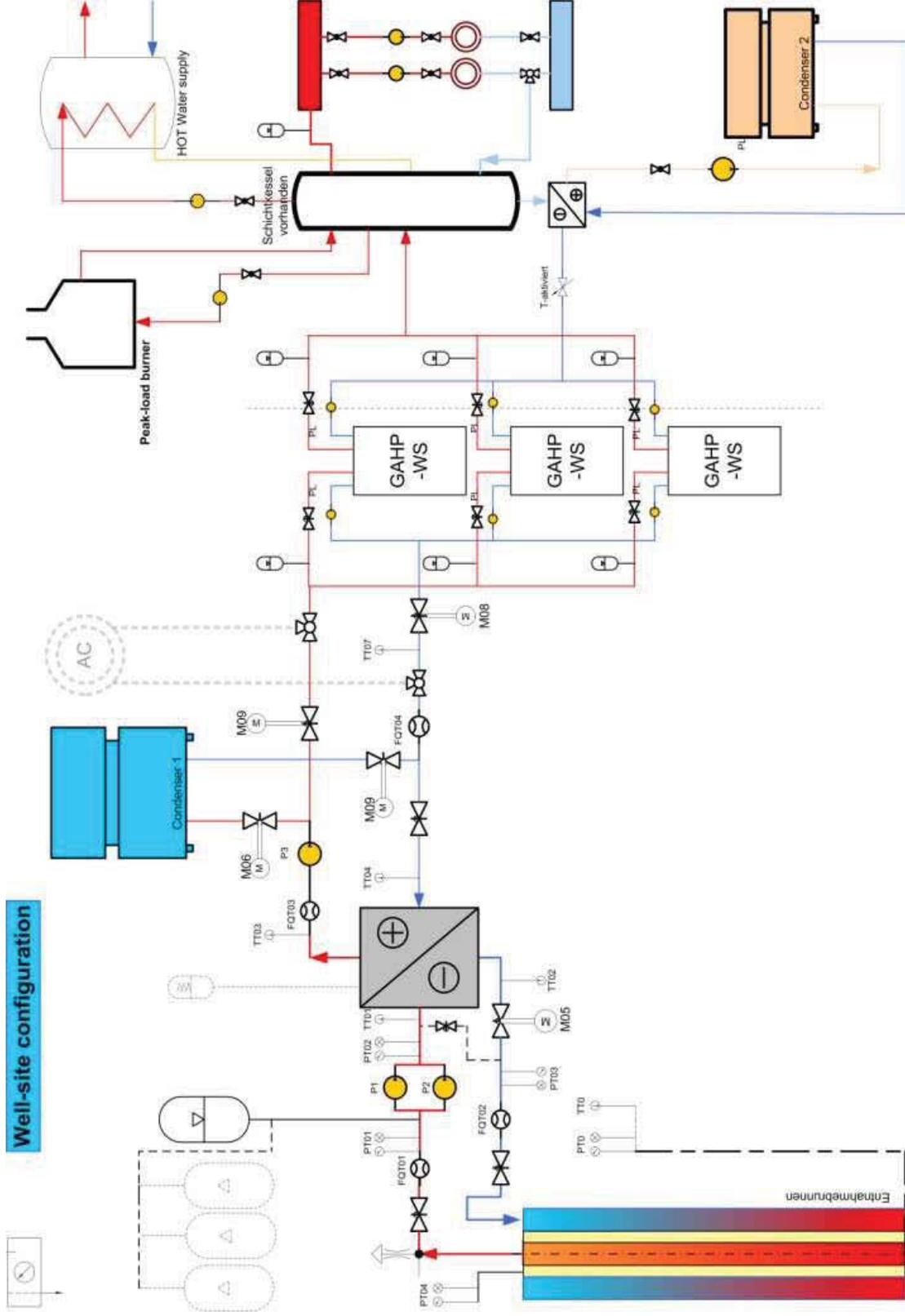


Abbildung 3.13: Verfahrensfließbild Winterbetrieb



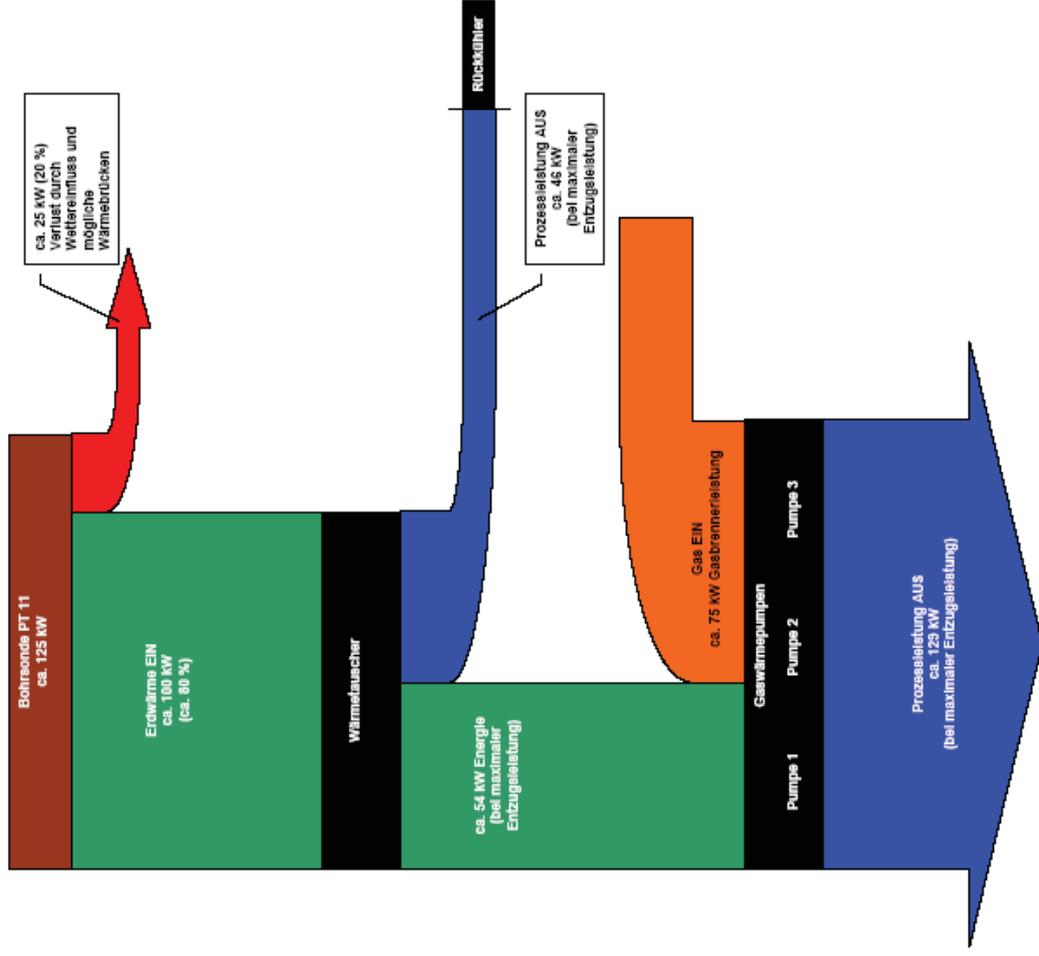


Abbildung 3.14: Energieflussdiagramm Winterbetrieb

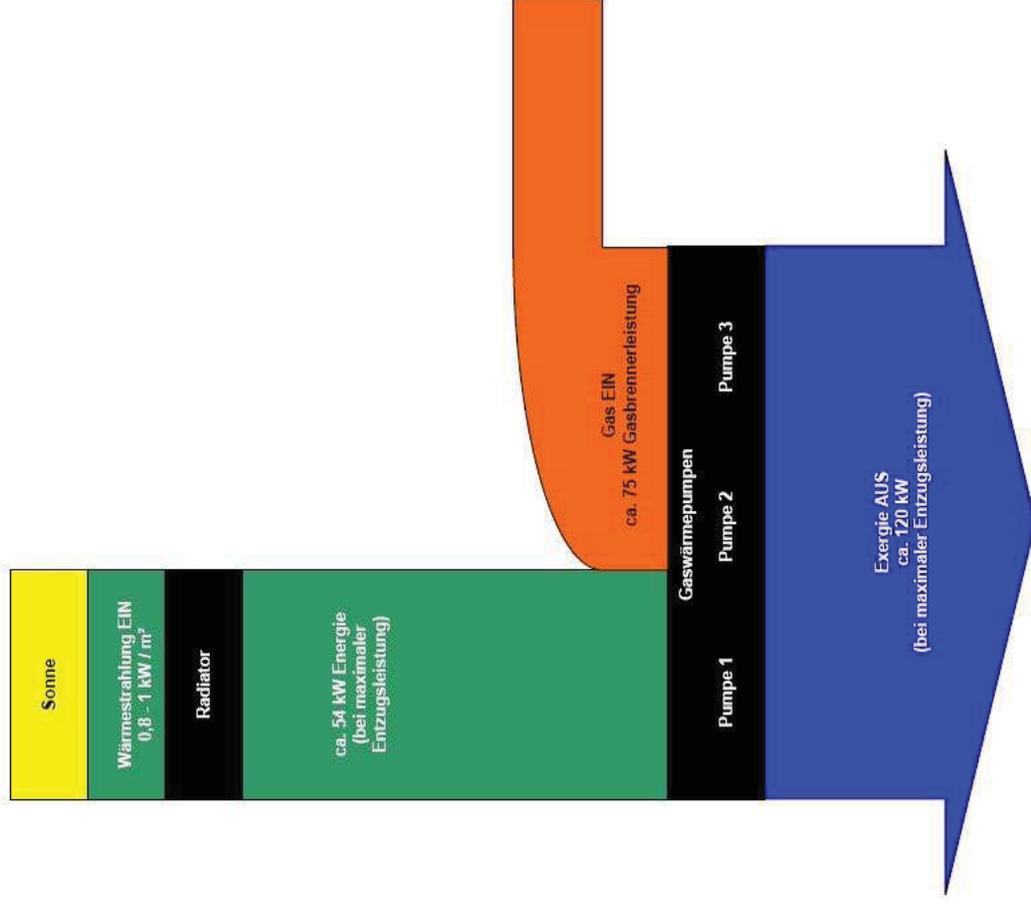


Abbildung 3.15: Energiediagramm Sommerbetrieb

3.9 Absorptionskältemaschinen bzw. Absorptionswärmepumpe

Absorptionskältemaschinen lassen sich als Wärmepumpen betreiben²¹. Im zu bearbeitenden Geothermieprojekt werden Absorptionswärmepumpen der Firma Robur verwendet. Da in der Literatur Absorptionskältemaschinen besser beschrieben wurden, folgt eine kurze Darstellung dieser mit einem abschließenden Verweis auf das Prinzip der Wärmepumpen.

Schematisch dargestellt ist eine Absorptionskältemaschine in Abbildung 3.16 und Abbildung 3.17. Dabei wird die Temperaturabhängigkeit der physikalischen Löslichkeit zweier Stoffe ausgenutzt. Umso tiefer die Temperatur, desto besser ist die Löslichkeit eines Gases in eine Flüssigkeit. Aus diesem Grund findet die Absorption bei niederen Temperaturen statt und die Desorption bei Hohen. Zudem ist die Löslichkeit auch druckabhängig. Jedoch reziprok der Abhängigkeit von der Temperatur. Bei höherem Drücken ist die Löslichkeit besser und bei niedrigeren schlechter. Wissenschaftlich sind diese Aussagen im Henryschen Gesetz in Kombination mit dem Daltonschen Gesetz dargestellt:

Henrysche Gesetz (beschreibt die Löslichkeit eines Gases in einer Flüssigkeit):

$$p_A = H_A * x_A \quad (3.2)$$

Wobei p_A für den Partialdruck der Komponente A im Gas, H_a für Henrysche Konstante und x_a für den Stoffmengenanteil der gelösten Komponente A in dem flüssigen Absorptionsmittel steht.

Dalton'sche Gesetz:

$$y_A = \frac{p_A}{p} \quad (3.3)$$

y_a gibt dabei den Stoffmengenanteil der Komponente A in der gasförmigen Phase an und p beschreibt den Gesamtdruck.

modifiziertes Henrysches Gesetz:

$$y_A = \frac{H_A}{p} * x_A \quad (3.4)$$

Steigt nun der Druck wird Term 1 auf der rechten Seite des modifizierten Henryschen Gesetzes kleiner. Um das Gleichgewicht wieder einzustellen, steigt der Stoffmengenanteil

²¹ Quelle: Recknagel et al. (2009), S. 507.



von A in der Flüssigkeit. (bessere Löslichkeit) Steigt die Temperatur, wird die Henry Konstante (besser: Henrysche Absorptionskoeffizient) größer. Somit auch der genannte Term. Das führt zu einer Senkung des Stoffmengenanteils von A in der Flüssigkeit.

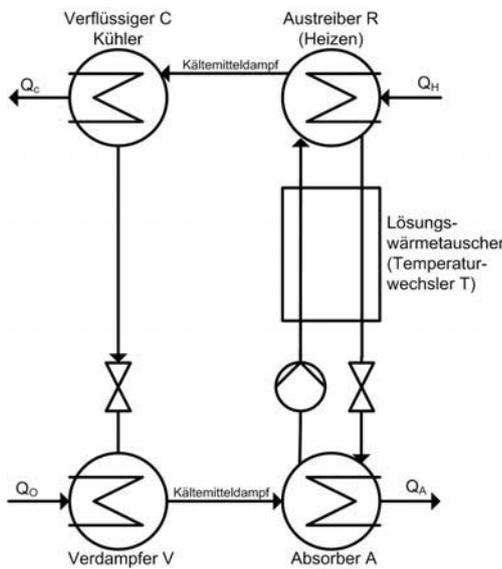


Abbildung 3.16: Fließbild einer Absorptionskältemaschine

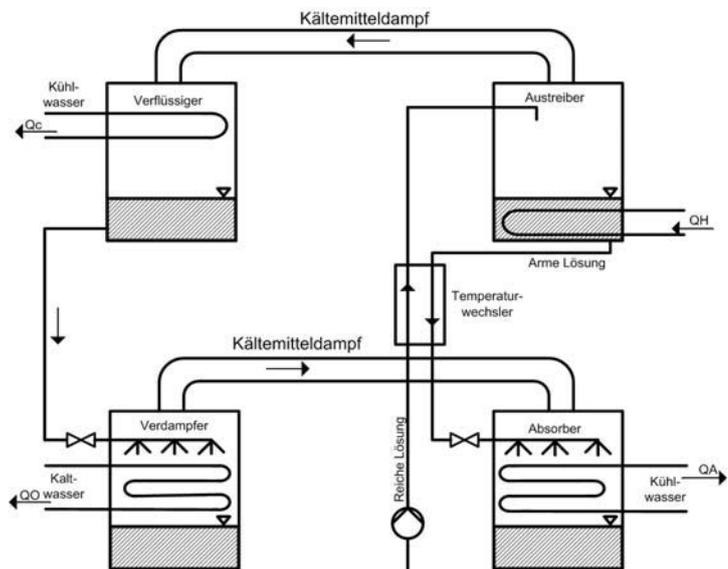


Abbildung 3.17: Schema einer Absorptionskältemaschine

Die Absorptionskältemaschine funktioniert wie folgt. In den Verdampfer wird von außen Wärme zugeführt, welche dem zu kühlenden Medium Wärme entzieht. Es kommt nun zu keiner mechanischen Verdichtung bei Kompressionskältemaschinen, sondern zur Aufnahme des Kältemitteldampfes in ein Lösungsmittel (Absorption). Die Lösung wird durch eine Pumpe auf höheren Verflüssigungsdruck gebracht und in den Austreiber (Generator, Kocher) gefördert. Mittels äußerer Wärmezufuhr (Wärmequellen: Dampf, Brenngas, Warmwasser) wird das Kältemittel desorbiert und in den Verflüssiger geschickt. Ein an Kältemittel armer Strom gelangt über ein Ventil in den Absorber zurück.

Der in den Verflüssiger eingegangene Kältemittelstrom wird nach erfolgter Phasenumwandlung wieder in Verdampfer eingebracht. Der Kreislauf beginnt von neuem.

Wie bereits erwähnt lassen sich Absorptionskältemaschinen auch als Wärmepumpen verwenden. Die Nutzwärme ist dabei die Summe aus der vom Verflüssiger abgegebenen Wärmemenge Q_c und der vom Absorber abgegebenen Q_a . Q_h muss wieder über Gas, Dampf eingebracht werden. Die Wärmemenge Q_o wird im Fall der Versuchsanlage mittels Erdwärme eingebracht.

Um die Wirkung der Wärmepumpe beschreiben zu können, wurde das Wärmeverhältnis definiert:



$$\zeta_W = \frac{Q_C + Q_A}{Q_H} \tag{3.5}$$

Etwa erreichbare Wärmeverhältnisse in Abhängigkeit von Verdampfungstemperatur t_0 und gewünschter Nutzwärmetemperatur t_N sind in Abbildung 3.19 dargestellt, die dafür mindestens erforderliche Heizmitteltemperatur beim Austritt aus dem Austreiber zeigt Abbildung 3.18 die Prozesstemperatur t_0 liegt dabei etwa 5K unter der Austrittstemperatur der Wärmequelle aus dem Verdampfer.²²

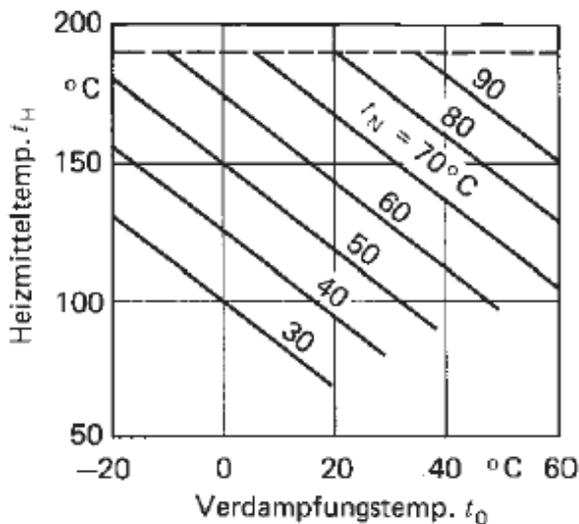


Abbildung 3.18: Absorptions-Wärmepumpen: Mindestens erforderliche Heizmittel Austrittstemperatur t_H , um bei gegebener Verdampfungstemperatur t_0 eine gewünschte Nutzwärmetemperatur t_N zu erreichen²³

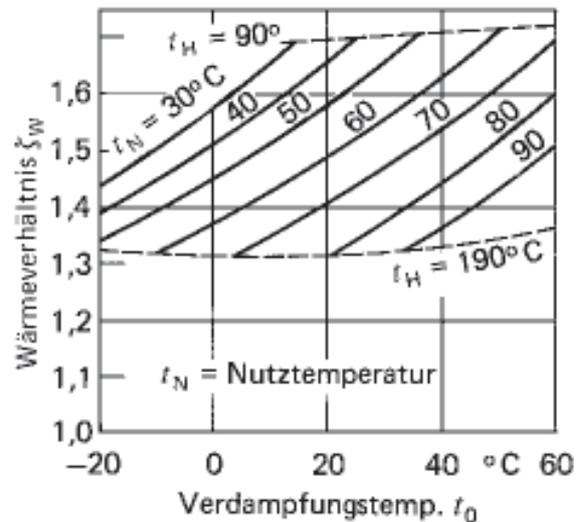


Abbildung 3.19: Etwa erreichbares reales Wärmeverhältnis²⁴

Der Vorteil gegenüber der Kompressions-Wärmepumpe liegt darin, dass außer der Lösungsmittelpumpe keine bewegten Teile vorhanden sind. Die Wärmeentnahme an der Wärmequelle ist gegenüber der el. Wärmepumpe nur etwa halb so groß. Ferner geräuscharm, lange Lebensdauer, geringe Wartekosten.²⁵

Der Nachteil ist der große apparative Aufwand und die hohen Drücke im System H₂O-NH₃ (ungefähr 20bar), ferner die Giftigkeit des Ammoniaks.²⁶

²² Quelle: Recknagel et al (2009), S. 507.

²³ Quelle: Recknagel et al (2009), S. 508.

²⁴ Quelle: Recknagel et al (2009), S. 508.

²⁵ Quelle: Recknagel et al (2009), S. 508.

²⁶ Quelle: Recknagel et al (2009), S. 508.



3.10 Prozessmedium

Als Prozessmedium wird beim Bohrlochwärmetausch ein Wasser – Glykol – Gemisch (hier: 25% Glykol) verwendet. Im Grunde wäre die alleinige Verwendung von Wasser auch denkbar, um jedoch dem Frost vorzubeugen werden ab Temperaturen unter 4°C gefrierpunktserniedrigende Substanzen beigemischt. Früher wurden zu diesem Zweck Salze verwendet. Durch die Steigerung der Korrosion wurde diese Möglichkeit wieder verworfen. Heute werden Glykole beigemischt. Diese sind Mischungen von Wasser und höhersiedenden Alkoholen. Ein steigender Anteil an Frostschutzmitteln senkt den Gefrierpunkt. Tiefster erreichbarer Wert ist dabei das Eutektikum des Gemisches. Auftretende Probleme bei der Beimengung von Frostschutzmitteln sind die Steigerung der Zähigkeit, eine Erhöhung des Strömungswiderstandes und eine Verringerung der Wärmeübergangszahlen.²⁷

²⁷ Vgl. Recknagel et al. (2009), S. 1553.



4 Gärtnerei Evelyne Bach, Hirschstetten



Abbildung 4.1: Entfernungen Sonde - Gewächshaus bzw. Ölbrenner

Die „Gärtnerei Evelyne Bach“ befindet sich in Hirschstetten, einem Stadtteil des 22ten Wiener Gemeindebezirks Donaustadt. Der Betrieb findet ganzjährig statt. Allerdings wird im Winter die Gesamtkapazität von 3.600 m² Nutzfläche nicht ausgenutzt, da die Nachfrage mit einem Glashaus befriedigt werden kann.

Interessant für das Geothermie Projekt wird die Gärtnerei durch die nebenstehende Sonde „Hirschstetten 5“. Diese hat eine Tiefe von 2.530m und ist von der Gärtnerei ~40m (bis zum nächsten Gewächshaus; gelber Punkt) bzw. ~165m (bis zum Ölbrenner; oranger Punkt) entfernt.

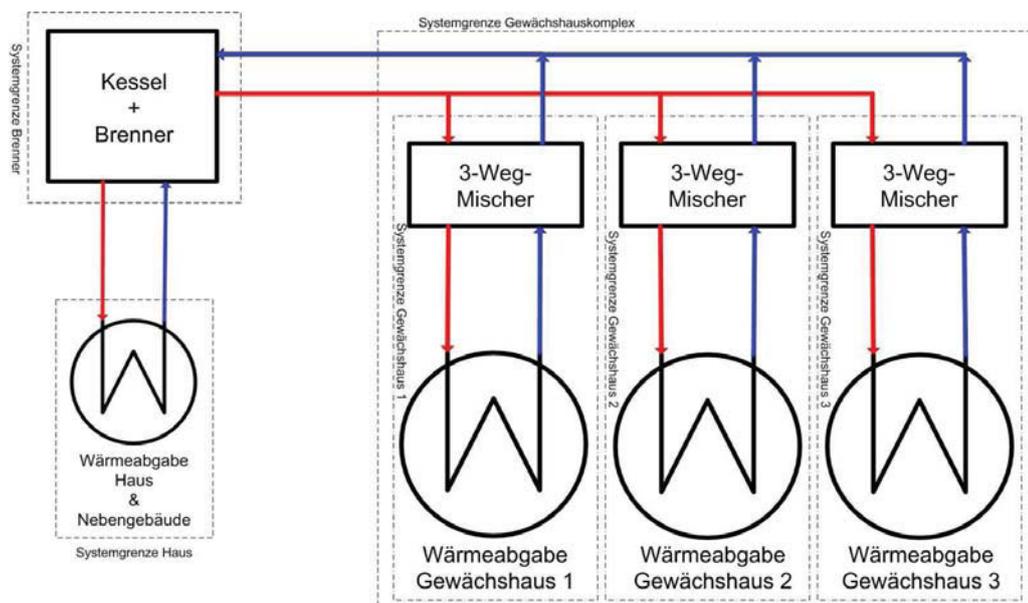


Abbildung 4.2: Konzept der Gesamtanlage

Der Aufbau der Gesamtanlage ist in Abbildung 4.2 grob dargestellt. Ein Ölbrenner mit einer Leistung von 1000kW versorgt das Wohnhaus, die Nebengebäude und die Glashäuser mit der benötigten Energie. Je nach Jahreszeit werden wie bereits erwähnt eines oder mehrere Glashäuser versorgt. In der Abbildung sind zur Anschaulichkeit halber Drei dargestellt.

4.1 Gewächshaus Aufbau und Temperaturen



Abbildung 4.3: Gewächshaus



Abbildung 4.4: Untertischheizung

Für die Kultivierung von Pflanzen gilt der Temperaturbereich von 25°C bis 35°C als ideal. Wobei in der Nacht zum Schutz der Pflanzen 10°C nicht unterschritten werden sollten. Demnach ist eine Beheizung im Sommer nicht nötig außer es werden z.B. Paprikakulturen angebaut, die zum Keimen um die 20°C benötigen.

Angebaut wird in einem Gewächshaus mit normaler Glasisolation, was aus wärmetechnischen Gründen (hoher Wärmeverlust) weniger ideal ist. Zur Verminderung dieses Mangels wird eine Umrüstung auf Isolierglas überlegt. Allerdings steht nur ein Austausch der Seitenflächen zur Debatte, da im Winter durch die verminderte Leitfähigkeit des Glases der Schnee am Dach liegen bliebe. Dies würde die Lichtverhältnisse im Gewächshaus merklich verschlechtern.

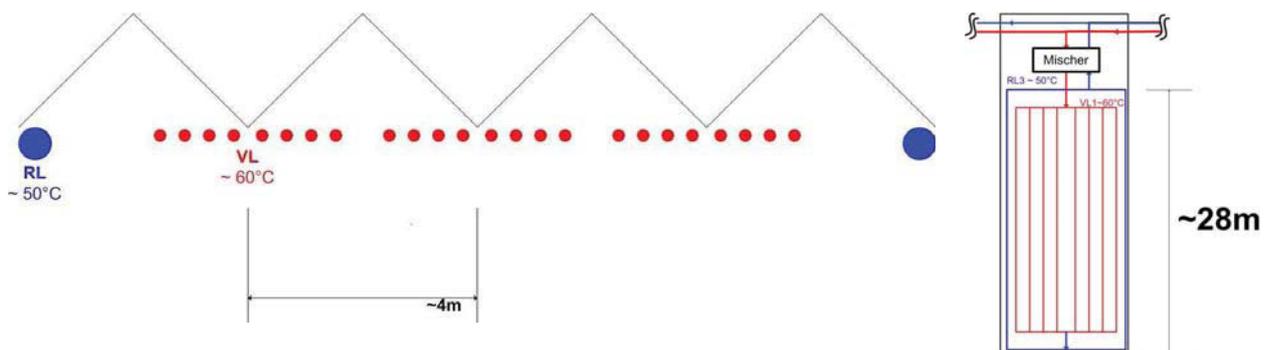


Abbildung 4.5: Aufbau des Gewächshauses Auf- und Grundriss

Der Aufbau eines Gewächshauses ist in Abbildung 4.5 im Auf- und Grundriss schematisch dargestellt. In diesem Fall wurde das ganzjährig in Betrieb stehende skizziert. Es besteht aus vier Feldern und wird mittels Rohrheizung über 8 Vorlaufleitungen (~65°C) je Feld und 2 Rücklaufleitungen (45°C – 50°C) beheizt. Zur Abschätzung des Fassungsvermögens der Leitungen des Gewächshauses wurde folgende Rechnung angestellt:

Berechnung des Fassungsvermögens eines Vorlaufstranges:



$$V_{1StrangVL} = \frac{d_{StrangVL}^2 * \pi}{4} * L \quad (4.1)$$

$$V_{1StrangVL} = \frac{0,04^2 * \pi}{4} * 28 = 0,035m^3 \sim 35l$$

Ein Feld besitzt 8 Vorlaufstränge mit einem Durchmesser von 0,04m. Das Fassungsvermögen ist demnach:

$$V_{Feld} = 8 * V_{1StrangVL} = 0,28m^3 \sim 280l$$

Das oben dargestellte Gewächshaus besteht aus 3 Nettopfeldern. Somit ergibt sich das Volumen des gesamten Vorlaufsystems zu:

$$V_{VL} = V_F * 3 = 0,84m^3 \sim 840l$$

Zusätzlich muss noch der Rücklauf betrachtet werden, wobei hier Leitungen mit größeren Durchmessern verwendet werden (d=0,1m)

$$V_{RL} = \frac{d_{StrangRL}^2 * \pi}{4} * L * 2_{Leitungen} = \frac{0,1^2 * \pi}{4} * 28 * 2 = 0,44m^3 \sim 440l$$

Es ergibt sich folgend eine Gesamtfassungsvermögen der Leitungen im Gewächshaus von:

$$V_{Gesamt} = V_{VL} + V_{RL} = 0,84m^3 + 0,44m^3 = 1,28m^3 \sim 1.280l$$

Über die gesamte Anlage sind Heizrohre mit einer Länge von ca. 1.500m montiert (zum Teil mit der Möglichkeit die Leitung abzusenken) Es wird aber auch die Variante der Untertischheizung verwendet. Diese hat den Vorteil, dass die Wärme nahe den Kulturen abgegeben wird.

Da die Leitungen Wärme abstrahlen sollen, ist eine Isolation klarerweise nicht zielführend. Allerdings gibt es auch Bereiche im Gewächshaus (z.B. Eingang) bzw. Leitungen (z.B. für den Warmwassertransport durch ein Gewächshaus ins Nächste) bei denen eine Isolation sinnvoll wäre. Da durch das Gießen die Luft stets einen hohen Feuchtegehalt besitzt, wäre die Isolation stets nass, was zu Korrosion und zur Entstehung von Pilzen und anderer Krankheitserreger für Mensch und Pflanzen führen würde.



4.2 Temperaturregelung Gewächshaus

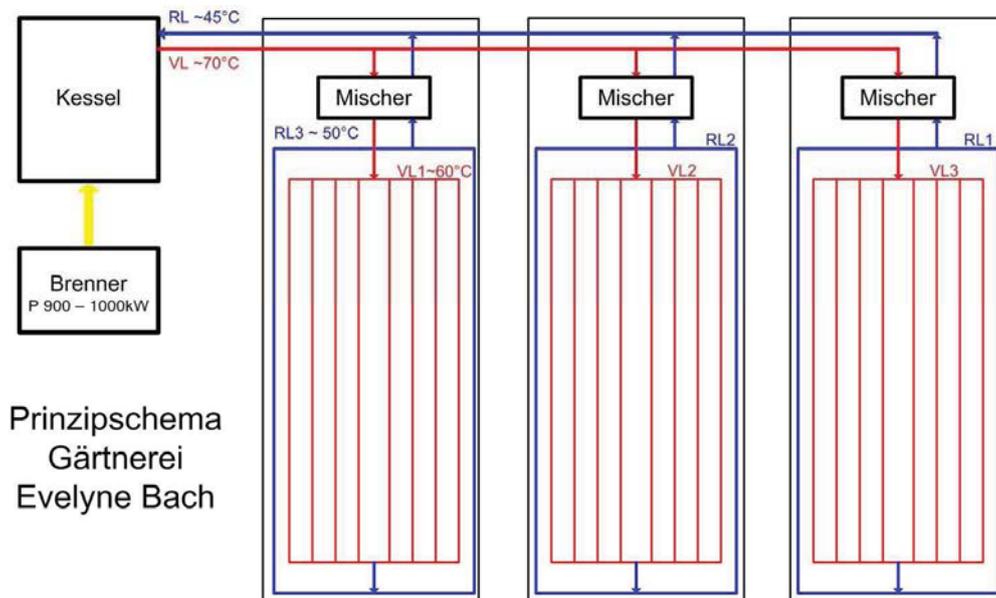


Abbildung 4.6: Heizungsschema Gärtnerei Evelyne Bach

Angelehnt an Abbildung 4.2: Konzept der Gesamtanlage wurde in Abbildung 4.6 das Beheizungsschema der Gärtnerei Evelyne Bach mit den dazugehörigen Temperaturbereichen im Grundriss dargestellt. Ein Heizmedium (hier: Wasser) wird im Kessel von einem 1000kW Ölbrenner erhitzt. Als Vorlauf (Temperatur: ~ 70°C) gelangt es ins erste Gewächshaus und wird dort abgezweigt. Der Vorlauf 1 wird mittels eines 3 - Weg - Mischers mit dem von der Wärmeabgabe kommenden Rücklauf RL3 (~45°C – 50°C) in Kontakt gebracht. Dadurch kann die Temperatur des Mediums in den zur Wärmeabgabe montierten Leitungen (~65°C – 60°C) eingestellt werden. Am Ende des Gewächshauses wird das Prozessmedium gesammelt und über den Rücklauf RL3 in den Gesamtrücklauf RL (Temperatur~45°C) eingeleitet. Die folgenden Gewächshäuser funktionieren nach demselben Prinzip. Der Gesamtrücklaufstrom RL gelangt schließlich mit ~45°C in den Kessel und komplettiert den Kreislauf.



Abbildung 4.7: 3 Weg Mischer

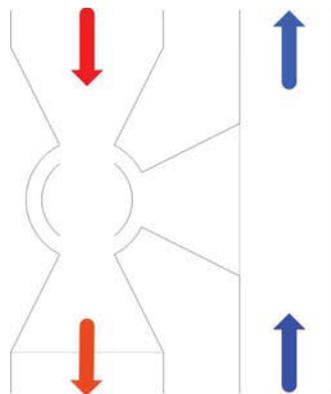


Abbildung 4.8: 3 - Weg Mischer: Stellung 1

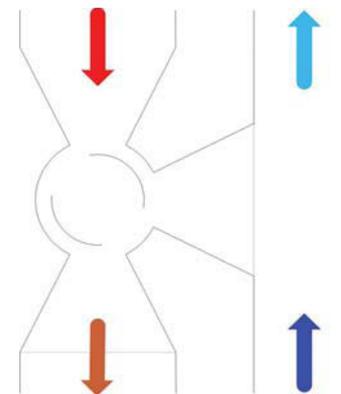


Abbildung 4.9: 3 - Weg Mischer: Stellung 2

Das Gewächshaus ist je nach Bedarf auf eine bestimmte Temperatur +/- 1°C eingestellt. Kommt es nun durch Wolken, einem kalten Wind,... zu einer Absenkung der Temperatur unter den Grenzbereich, springt der Ölbrenner an um Wärmeenergie zu liefern. Je nach Notwendigkeit erzeugt nun der 3 – Weg – Mischer verschieden temperaturreiche Vorläufe. Wird z.B. viel Wärme benötigt ist die Stellung 1 aus Abbildung 4.8 vorteilhaft. Der gesamte Vorlauf VL wird zur Wärmeabgabe geschickt. Soll die Temperatur langsam eingespeist werden ist z.B. die Stellung 2 aus Abbildung 4.9 zu verwenden. Hier wird die Energie des Vorlaufes VL vermehrt wieder mit dem Rücklauf RL in den Kessel geschickt.

4.3 Benötigte Energie bzw. derzeitiges Heizverhalten

Das Gewächshaus wird derzeit mittels eines 1000kW Brenners beheizt. Wobei es im Sommer zu keinem Heizen kommt und auch im Winter wird nicht kontinuierlich Wärme zugeführt. Herrn Mario Bachs Schätzung zu folge kam es im Dezember 2008 zu einer Brennerlaufzeit von rund 2 Stunden pro Tag. Im Gartenbau wird die Energie schnell benötigt, da die Temperaturen im Glashaus durch Wind, etc... innerhalb kürzester Zeit drastisch sinken können. Kommt es nun zu einem Temperaturabfall, springt der Brenner an, erhitzt den Kessel und die Pumpen fördern anschließend die notwendige Wärme. Der Brenner selbst läuft dabei aber immer nur geschätzte 3 Minuten.

In der Gärtnerei Evelyne Bach ist ein Gewächshaus ganzjährig in Betrieb. Die restlichen werden ab Februar/ März bei Bedarf aktiviert. D.H. es wird der Großteil des Jahresbedarfs an Heizöl (~30.000 Liter) für dieses Glashaus benötigt.

Aus der Literatur erhält man einen Heizwert des Erdöles von 11,7KWh pro kg²⁸. Mit einer angenommenen Erdöldichte von 0,86 kg/l²⁹ ergibt das einen Heizwert von 10,06kWh pro Liter (l).

Unter Berücksichtigung eines Jahresverbrauchs (H) von 30.000 Litern kommt man daher auf einen Jahresenergiebedarf von:

$$W = H * I \quad (4.2)$$

$$W = 30.000 \text{ Liter/Jahr} * 10,06 \text{ kWh/l} = 301.800 \text{ kWh/Jahr}$$

²⁸ Quelle: Recknagel et al. (2009), . 225.

²⁹ Quelle: Recknagel et al. (2009), S. 225.



Der verwendete Ölbrenner hat eine Leistung von $P=1.000\text{kW}$. Somit ergibt sich eine durchschnittliche jährliche Brennerlaufzeit von:

$$t_{\text{Brenner}} = \frac{W}{P} \quad (4.3)$$

$$t_{\text{Brenner}} = \frac{301.800\text{kWh}}{1.000\text{kW}} = 301,8\text{h}$$

Aus jahreszeitlichen Gründen wird der Brenner unregelmäßig stark gebraucht. Die Gewächshäuser haben eine Heizdauer von etwa 4³⁰ Monate pro Jahr. Das Haus hingegen wird ganzjährig beheizt. Da die Glashäuser für die Abschätzung einer möglichen Anbindung den kritischen Faktor darstellen (benötigen den größten Energiebedarf und sind schwerer zu heizen als das Haus), werden sie in der Folge ohne Haus detaillierter betrachtet.

Ein größenmäßig vergleichbares Haus hat einen jährlichen Energiebedarf von 25MWh³¹. Betrachtet man den Gesamtkomplex mit den anliegenden Gebäuden, so dürfte die Annahme von 30MWh pro Jahr treffend sein.

Folgend ergibt sich eine benötigte Energiezufuhr für den Gewächshauskomplex von:

$$W = 301,8\text{MWh}/\text{Jahr} - 30\text{MWh}/\text{Jahr} = 271,8\text{MWh}/\text{Jahr}$$

Daraus erhält man eine Brennerlaufzeit für die Glashäuser von:

$$t_{\text{Glashäuser}} = \frac{271.800\text{kWh}/\text{Jahr}}{1000\text{kW}} = 271,8\text{h}/\text{Jahr}$$

Da die Gewächshäuser nur 4 Monate in Betrieb sind ergibt sich eine tägliche Brennerlaufzeit von:

$$t_{\text{Tag}} = \frac{271,8\text{h}/\text{Jahr}}{4\text{Monate}/\text{Jahr} * 30\text{Tage}/\text{Monat}} = 2,27\text{h}/\text{Tag}$$

³⁰ Schätzung von Herrn Bach

³¹ Quelle: Thayer (2008), S. 12.



4.4 Wärmebedarfskurve

Um das Heizverhalten bzw. den Wärmebedarf besser einschätzen zu können, bedient man sich so genannter Wärmebedarfskurven. Dabei stellt man den Bedarf an Wärmemenge in einem Diagramm über die einzelnen Monate.

Tabelle 4.1: ZAMG, Jahrbuch 2007³²

Lufttemperatur in °C	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	
Mittelwert zum 7 Uhr - Termin	4.7	3.1	4.9	10.3	15.0	19.2	20.2	18.3	11.6	7.3	2.8	0.3	9.8	Mittelwert
Mittelwert zum 14 Uhr - Termin	8.0	8.2	11.6	18.9	21.3	26.1	26.5	25.5	17.8	12.8	5.7	2.0	15.4	Mittelwert
Mittelwert zum 19 Uhr - Termin	6.7	6.1	9.2	15.9	19.2	23.7	24.9	22.8	14.7	9.7	4.1	1.1	13.2	Mittelwert
Monats-/Jahresmittelwert	6.0	5.2	7.8	13.3	17.3	21.7	22.7	21.1	13.9	9.1	3.9	0.9	11.9	Mittelwert
Mittlere tägliche Maxima	9.8	9.3	13.2	20.2	23.2	27.9	29.2	27.2	19.0	13.6	6.7	2.8	16.8	Mittelwert
Mittlere tägliche Minima	2.9	2.2	3.8	7.0	11.9	16.1	16.6	16.0	10.2	6.0	1.9	-0.7	7.8	Mittelwert
absolutes Maximum	19.0	14.4	18.3	26.1	31.3	35.3	37.8	33.2	25.2	22.6	15.4	12.6	37.8	Maximum
abs. Maximum - Tag der Registrierung	19.	28.	7.	28.	25.	21.	17.	16.	17.	5.	3.	2.		
absolutes Minimum	-7.3	-1.3	0.2	1.2	2.0	9.6	11.3	11.6	5.2	-0.8	-3.4	-5.1	-7.3	Minimum
abs. Minimum - Tag der Registrierung	26.	10.	27.	5.	2.	1.	11.	2.	21.	15.	17.	23.		

In Fall der Gärtnerei Evelyne Bach war der Gesamtjahresverbrauch bekannt. Jetzt galt es diesen möglichst realitätsnahe mittels eines Schlüssels an die Monate aufzuteilen.

Der Wärmebedarf ist unweigerlich mit der Außentemperatur verbunden. In Tabelle 4.1 sind die signifikanten Temperaturen des Jahres 2007 monatsweise dargestellt. Die optimale Temperatur im Gewächshaus wurde auf 15°C festgelegt. Es wurden nun alle Mittelwerte gesucht, die unter diesem Wert lagen, daraus dann der Mittelwert gebildet. Die Differenz zwischen 15°C und dem Mittelwert wurde dann mit der zu heizenden Zeit multipliziert. Zur besseren Veranschaulichung folgt ein Beispiel:

Für Januar 2007 stehen die Werte 4,7°C/8,0°C/6,7°C als Mittelwerte für 7Uhr/14Uhr/19Uhr. Folglich beträgt der Durchschnitt:

$$\text{Mittelwert} = (4,7^{\circ}\text{C} + 8,0^{\circ}\text{C} + 6,7^{\circ}\text{C}) / 3 = 6,47^{\circ}\text{C}$$

³² ZAMG (2007).



$$\text{Differenz} = 15^{\circ}\text{C} - 6,47^{\circ}\text{C} = 8,53^{\circ}\text{C}$$

Das Glashaus muss demnach grob gesagt den ganzen Tag beheizt werden. Nun müssen nur noch die Stunden mit den Differenzen multipliziert werden.

$$\text{Schlüssel} = \text{Differenz} * \text{Stunden} = 24 * 8,53 = 204,8$$

Jedem Monat wurde somit ein Wert zugeteilt. Teilt man den Gesamtwärmebedarf pro Jahr nun durch die Summe, ergibt sich ein kWh pro Punkt Faktor. Dieser wird nun auf die einzelnen Monate aufgerechnet. In einem Diagramm dargestellt erhält man die Wärmebedarfskurve der Gewächshäuser der Gärtnerei Evelyne Bach.

$$\text{jährlicher.Gesamtwärmebedarf} = 271,8\text{MWh}$$

$$\sum \text{Schlüssel} = 1340,8$$

$$1_{\text{Schlüsselpunkt}} = 0,2\text{MWh}$$

$$\text{Wärmebedarf.Januar2007} = 41,52\text{MWh}$$

Um nicht von Jahresschwankungen in die Irre geführt zu werden, wurde dieses Prozedere vier Mal durchgespielt. Ergebnis sind die Wärmebedarfskurven von 2004 – 2007. Dargestellt in Abbildung 4.10 – Abbildung 4.13.



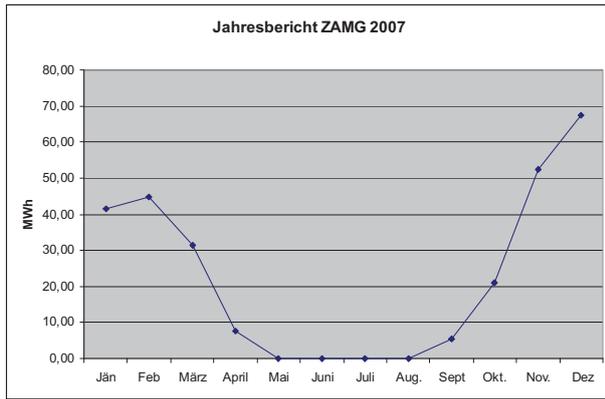


Abbildung 4.10: Wärmebedarfskurve 2007

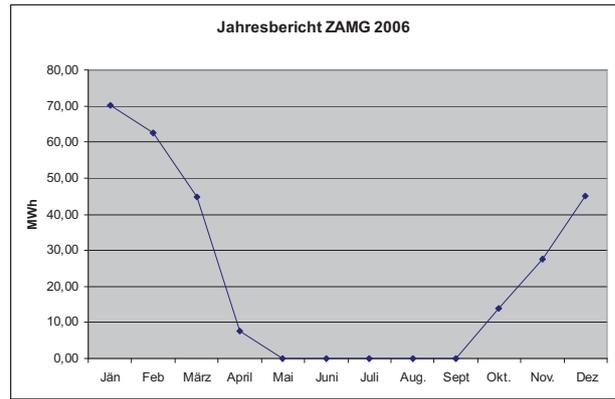


Abbildung 4.11: Wärmebedarfskurve 2006

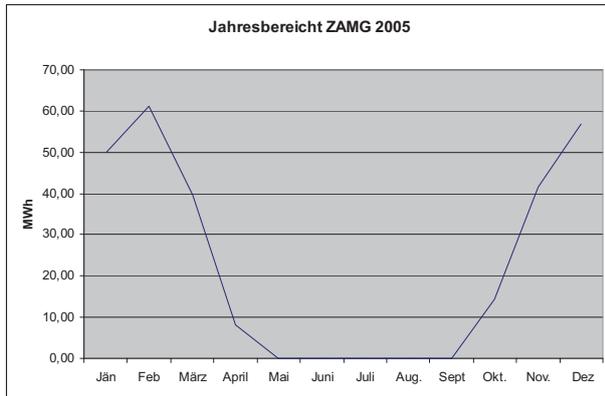


Abbildung 4.12: Wärmebedarfskurve 2005

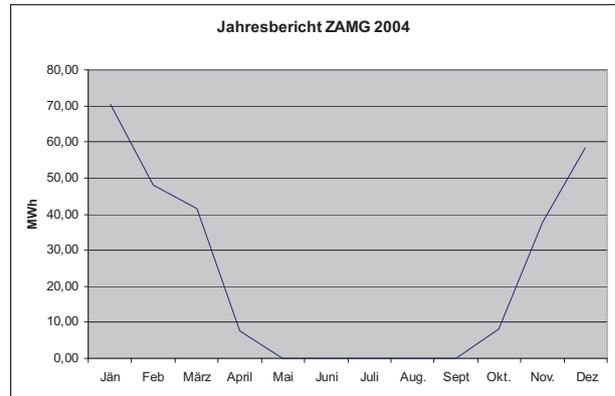


Abbildung 4.13: Wärmebedarfskurve 2004

Die Tendenzen sind klar erkennbar. Von Mai bis August genügt die Energie der Sonne um die Glashäuser zu beheizen. In den anderen Monaten muss beheizt werden. Interessant und teils verwunderlich ist der Fakt, dass 2007 und 2005 der Februar kälter war, als der Januar. Allerdings zeigen die Wärmebedarfskurven 2006 und 2004, dass diese Umstände auch nur Ausnahmen sein könnten.



5 Technische Integration

5.1 Kurzbeschreibung Bohrloch Hirschstetten 5

Die Endteufe der Bohrsonde Hirschstetten 5 liegt in 4.007m. Verrohrt ist diese allerdings nur bis in eine Tiefe von 2.530m. Bis zu dieser Stelle wird daher eine geothermische Nutzung in Betracht gezogen. Ab 251m Tiefe bis zur Endteufe der Verrohrung wurde ein 9 5/8 Zoll Casing verlegt. Für die Simulation wurden die breiteren Querschnitte oberhalb dieser Tiefe außer acht gelassen und eine 9 5/8 Zoll - Verrohrung von der Erdoberfläche bis auf 2.530m angenommen. Eine genauere Beschreibung des Bohrloches Hirschstetten 5 ist in Anhang 1 zu finden.

In Abbildung 5.1 ist die Sonde Hirschstetten 5 dargestellt. Auf der linken Seite der Grafik sind die Gesteinsschichten mit den für die Wärmeübertragung wichtigen λ Werten ersichtlich. Die mit schwarz dargestellten Rechtecke stellen die Stahlkonstruktion ($\lambda=45 \text{ W/mK}$) dar und die dunkelblauen Bereiche beschreiben Wassereinschlüsse. Die Gesteinsinformation hat eine durchschnittliche Wärmekapazität von 770 J/kgK .

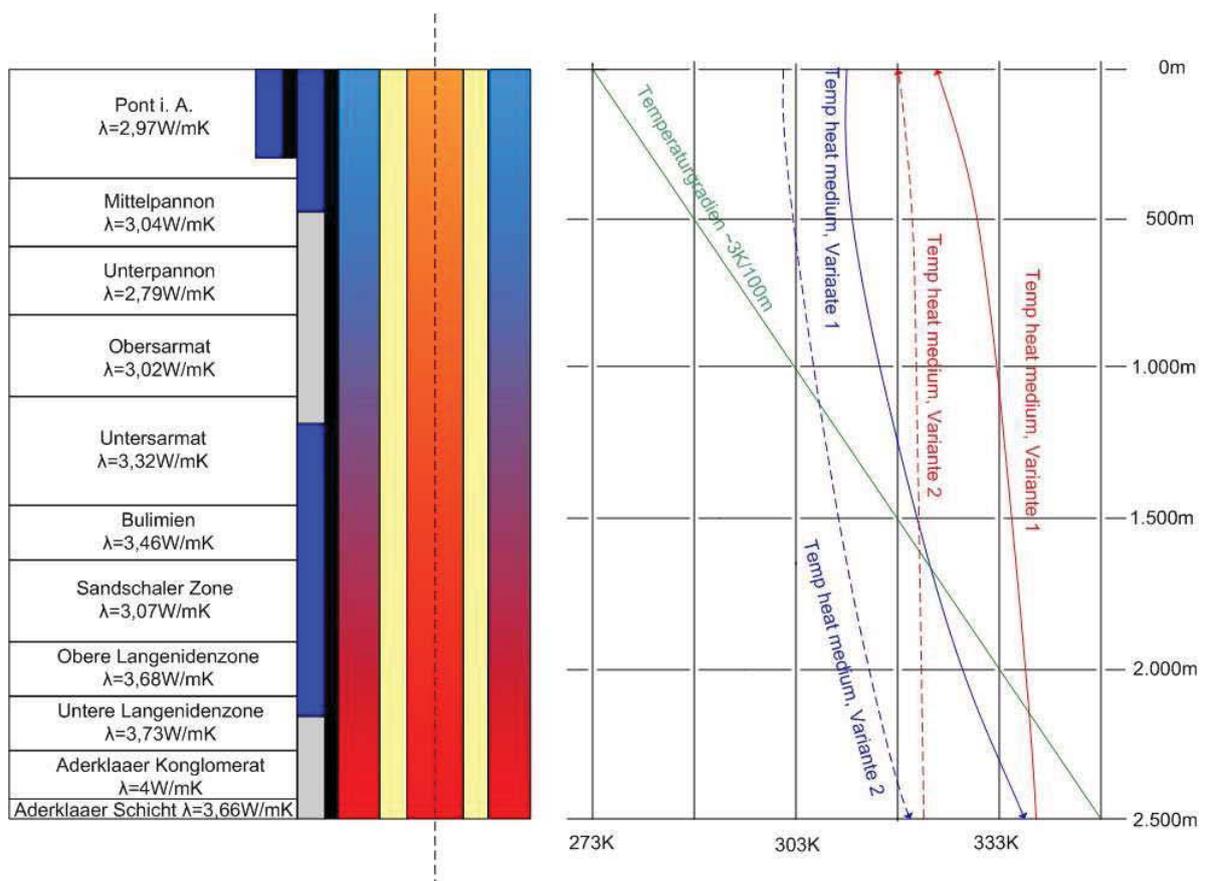


Abbildung 5.1: Bohrloch Hirschstetten 5

Rechts in der Abbildung sind Temperaturverläufe dargestellt. Grün steht für den angenommenen Temperaturgradienten. Blau zeigt jeweils die Verläufe der Heizmitteltemperatur im Außenring in den jeweiligen Höhen und rot stellt die Verhältnisse im Tubing dar. Die Temperaturverläufe 1 und 2 stehen für die in weiterer Folge erarbeiteten Vorschläge.

Die Differenz zwischen Eingangstemperatur ins Bohrloch und Ausgangstemperatur in Abhängigkeit von der Inlet - Temperatur ist erkennbar. Als Faustregel gilt, dass der Temperaturhub umso größer ist, je tiefer die Inlet – Temperatur gewählt wird. Zusätzlich ist noch der Einfluss des Massenstromes erkennbar. Umso höher dieser gewählt wird, desto weniger ist die Kurve gekrümmt. In diesem Fall ist gut zu erkennen, dass die Variante 1 mit einem höherem Massenstrom betrieben wird.

5.2 Einfluss der Parameter der Isolationsschicht auf den Wärmeverlust

Ausschlaggebend für eine gute Isolierung ist die Schichtdicke. Allerdings hat auch der Gasdruck für den Wärmeverlust mittels Konvektion, Konduktion und Wärmestrahlung einen signifikanten Einfluss.

In Prottes wurde als Isolationsgas Stickstoff gewählt. Allerdings bringt die Isolierung nicht die gewünschte Wirkung und so wurde über folgende Änderungen nachgedacht:

- Die Schichtdicke ist durch die Einbauten vorgegeben und kann daher nicht verändert werden.
- Änderung des Isolationsgases:
Eine Verbesserung könnte das Ersetzen des Stickstoffes mittels eines anderen Gases mit geringerer Wärmeleitfähigkeit bringen.
- Absenkung des Isolationsdruckes:
Senkt man den Isolationsdruck, würden sich weniger Teile im Isolationsraum befinden. Die Teile verhindern eine Wärmestrahlung vom Steigrohr zum Außenring. Allerdings fördern sie den Wärmeverlust des Steigrohres durch Konvektion und Konduktion. Die Summe der Verluste nimmt bei einer Druckabsenkung ab.
- Einbau von Strömungsbrecher
Strömungsbrecher vermindern den durch Konvektion verursachten Wärmetransport. Allerdings neigen Strömungsbrecher dazu Wärmebrücken zu bauen (Konvektion), die unerwünscht sind.



5.5 Variante 1

Bei der technischen Integration der Geothermie in das derzeitige Heizsystem der Gärtnerei Evelyne Bach werden die bisherigen Erkenntnisse aus dem Probebetrieb in Prottes und der Planung zur Beheizung der dortigen Sporthalle ausgenützt. So wird auch in Hirschstetten ein Heizsystem mit Absorptionsgaswärmepumpen, dessen Inputleistung zum Teil vom Bohrloch kommen soll, in Betracht gezogen.

Das Bohrloch ist von den Gaswärmepumpen über den Wärmetauscher W1 getrennt. Dies hat zwei Gründe. Erstens können Temperaturschwankungen, aus dem Bohrlochstrom kommend, über die Fließgeschwindigkeit des Warmwasserstromes am Wärmetauscher gepuffert werden. Temperaturschwankungen sind unerwünscht, da diese die Funktionsweise der Gaswärmepumpe verschlechtern. Zweitens erleichtert die Trennung in einen Kreislauf untertage und einen an der Oberfläche die rechtliche Zuständigkeit im Störfall.³³

Die Gaswärmepumpen versorgen einen Schichtkessel mit Warmwasser. Die Leistung der Gaswärmepumpen wird zu den Stoßzeiten nicht ausreichen. Daher wurde noch ein Spitzenlastbrenner eingeplant um die Differenzen auszugleichen.

Über den Schichtkessel werden in weiterer Folge der Heizkreislauf Gewächshauskomplex und der Heizkreislauf Haus mit Energie in Form vom Warmwasser versorgt.

Außerdem wurde noch ein Kreislauf um den Wärmetauscher W2 eingeplant. Dieser soll einen eventuell zu warmen Rückgabestrom an die Gaswärmepumpen abkühlen, um deren Funktionalität zu gewährleisten.

Das geplante Anlagenkonzept ist in Abbildung 5.2 abgebildet und wird in den folgenden Kapiteln detailliert betrachtet.

Weiters folgt in Abbildung 5.3 das Energieflussdiagramm der technischen Integration von der Bohrsonde Hirschstetten 5 bis zur Abgabe der Leistung der Gaswärmepumpen. Die vier Pumpen stellen bei maximaler Entzugsleistung dem Heizkreisläufen eine Energie von ca. 171kW zur Verfügung. Gespeist werden sie einerseits mit 101kW aus einem Gasbrenner. Andererseits werden 70kW durch die Geothermie zur Verfügung gestellt.

Der Wärmetausch wird ohne Verluste angenommen. Es ist allerdings notwendig den Verlust durch Wärmebrücken bei der Förderung und durch Wettereinflüsse zu berücksichtigen. Durch die Erfahrungen der Versuchsreihen der Pilotanlage Prottes wird der Verlust auf 10%

³³ Interne Kommunikation mit OMV EP



geschätzt.³⁴ Daher muss die Bohrsonde in Hirschstetten eine Leiste von 78kW erbringen um die Anforderungen zu erfüllen.

³⁴ Interne Kommunikation mit OMV EP



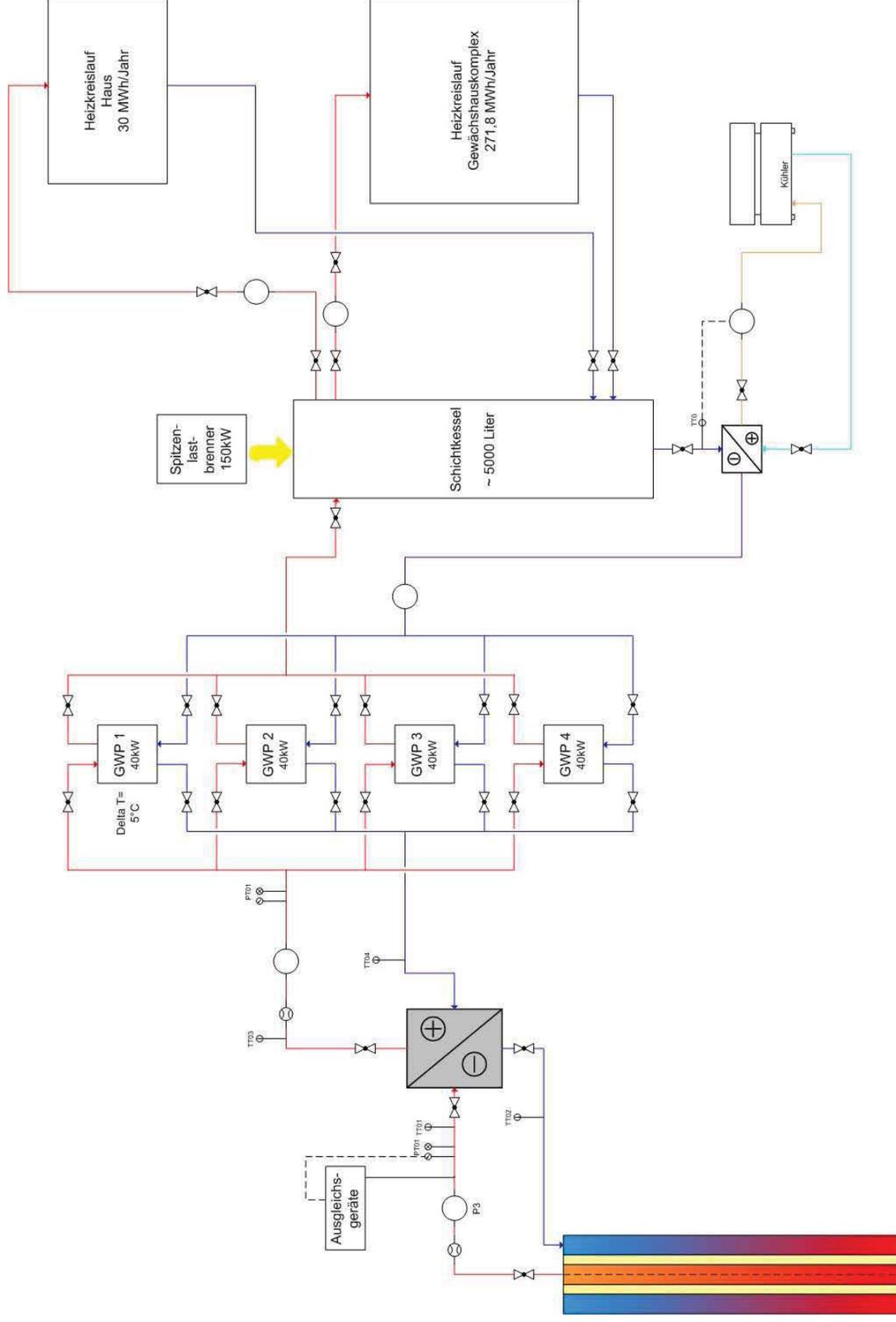


Abbildung 5.2: Anlagenkonzept Hirschstetten



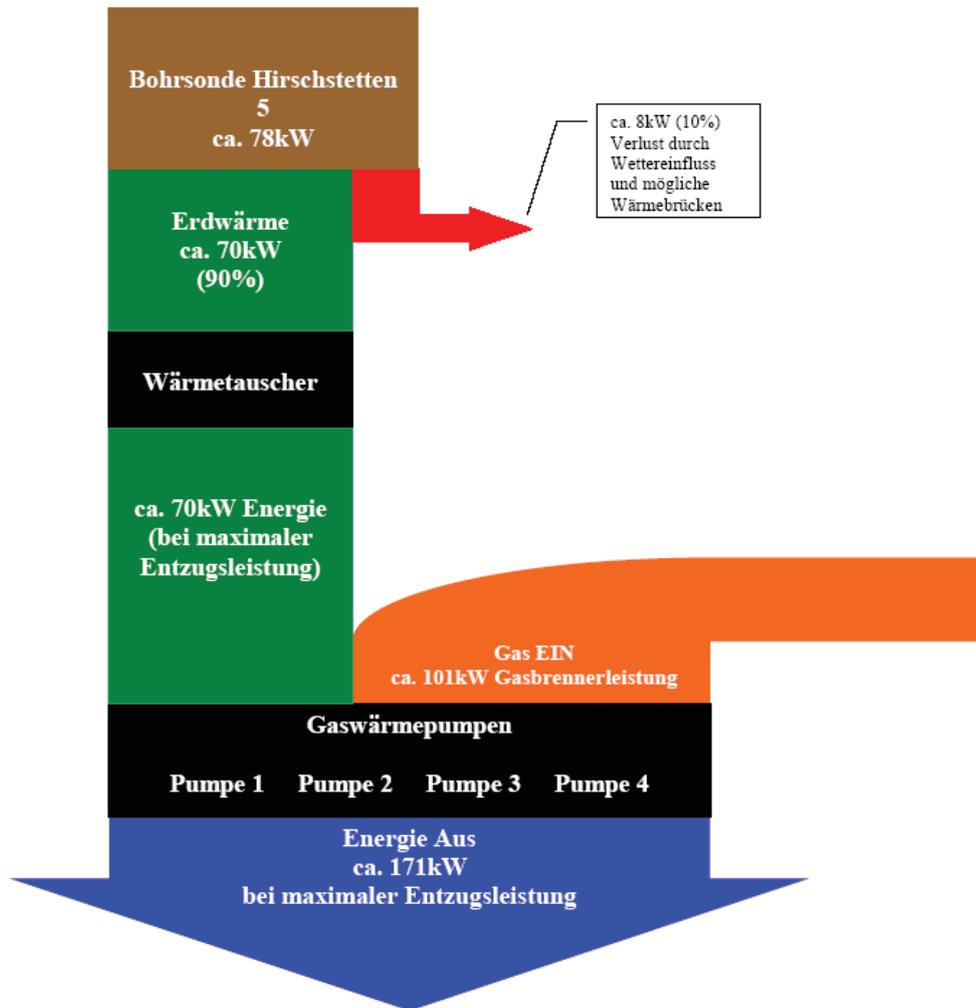


Abbildung 5.3: Energieflussdiagramm Technische Integration

5.5.1 Simulation des Borehole Heat Exchangers

Um das Leistungsvermögen des Bohrloches Hirschstetten 5 abschätzen zu können, wurde eine Simulation analog zu der in Kapitel 3.3 „Borehole Heat Exchanger Prottes PT11“ durchgeführt.

Das Casing ist vorgegeben. Nun ist die Aufgabe Tubings so einzubauen, dass das Bohrloch die gewünschten Anforderungen so gut wie möglich erfüllt. Durch idealen Einbau kann die Leistungsausbeute aus dem Bohrloch entscheidend verbessert werden. Entscheidend dafür sind folgende Kriterien:

- Das Heizmedium wird zwischen Casing und Außentube in Richtung Bohrlochteufe gepumpt. Die umgebenden Gesteinsformationen sind dabei ab einer bestimmten Tiefe wärmer als der Strom. Um die bestmögliche Wärmeaufnahme zu gewährleisten, sollte der Ringspalt flächentechnisch so groß wie möglich sein, da dadurch die Fließgeschwindigkeit des Heizmediums am kleinsten ist.

- Die Anforderungen an den Innentube sind genau umgekehrt. Im Bereich der Endteufe ist das Heizmedium am Energiereichsten. Im Laufe der Förderung nimmt der Energiegehalt ab, da Wärme an die Umgebung abgegeben wird. Deshalb sollte der Querschnitt, um eine große Fließgeschwindigkeit zu gewährleisten, eher klein sein.
- Der Innenstrom wird vom Außenstrom wie in Prottes durch eine Isolierung vor einer zu großen Wärmeabgabe geschützt. Umso größer diese Isolierungsschicht, desto besser der Dämmschutz.
- Für den Innentube stellt eine hohe Fördergeschwindigkeit den Idealfall dar. Allerdings kann nur bis zu einem gewissen Grad erhöht werden, da mit der Steigerung der Fördergeschwindigkeit auch der Druckverlust über das Bohrloch steigt. Der Druckverlust steigt exponentiell an.

Um die ideale Kombination der Parameter abschätzen zu können, wurden drei Einbaumöglichkeiten gegenübergestellt. Im Fall der Sonde Prottes PT11 liegt das Verhältnis von der Ringspaltfläche (außen, Heizmediumaufgabe) zur Fläche des Innentubes bei 4:1³⁵.

Da aus der Testreihe in Prottes keine Probleme bezüglich dieses Verhältnisses ersichtlich waren, werden die drei Kombinationen daran orientiert.

Eine Liste von möglichen Tubings zeigt Anhang 7. In einem Excel File wurden Einbauten verglichen. Daraus ergab sich dann die Kombination für die erste Simulationsreihe, die dem 4:1 Verhältnis in Prottes ähnelt. Die weiteren zwei Kombinationen haben ein kleineres bzw. größeres Verhältnis und sind in

Tabelle 5.1 bis Tabelle 5.3 dargestellt:

Tabelle 5.1: Parameter Simulation 1

Außendurchmesser Casing:	24,45	cm
Tube außen:	16,51	cm
Tube innen:	9	cm
Tinlet:	20,79	°C
Iso-Schichtdicke:	3,755	cm
A (Heizmedium aus):	63,585	cm ²
A (Heizmedium ein):	255,299584	cm ²
A (Isolationsschicht):	150,3903785	cm ²
Verhältnisfläche Außenstrom/Innenstrom:	4,015091358	

³⁵ Interne Kommunikation mit OMV EP



Tabelle 5.2: Parameter Simulation 2

Außendurchmesser Casing:	24,45	Cm
Tube außen:	17,78	Cm
Tube innen:	9	Cm
Tinlet:	20,79	°C
Iso-Schichtdicke:	4,39	Cm
A (Heizmedium aus):	63,585	cm ²
A (Heizmedium ein):	221,114169	cm ²
A (Isolationsschicht):	184,575794	cm ²
Verhältnisfläche Außenstrom/Innenstrom:	3,47745802	

Tabelle 5.3: Parameter Simulation 3

Außendurchmesser Casing:	24,45	Cm
Tube außen:	17,78	Cm
Tube innen:	7,62	Cm
Tinlet:	20,79	°C
Iso-Schichtdicke:	5,08	Cm
A (Heizmedium aus):	45,580554	cm ²
A (Heizmedium ein):	221,1141685	cm ²
A (Isolationsschicht):	202,58024	cm ²
Verhältnisfläche Außenstrom/Innenstrom:	4,851063647	

Das Excel Tool wurde in folgenden Bereichen verändert:

- Außendurchmesser Casing da_2 [m]
- Außendurchmesser eingebaute Koaxialrohre di_3 [m]
- Dicke Isolationsschicht si_{12} [m]
- Länge einer Rohreinheit la [m]
- Erdtemperatur T_{earth} [°C]

Die Werte für den Außendurchmesser Casing, Erdtemperatur und Länge einer Rohreinheit sind durch die vorhandenen Einbauten bzw. durch die größere Endteufe der Sonde Hirschstetten bedingt. Die Länge der Rohreinheit wurde aus Simulationsgründen verlängert. Die Sonde Hirschstetten ist deutlich tiefer als jene in Prottes.

Jedes Tubing innen – Tubing außen Verhältnis wurde nun mit unterschiedlichen Massenströmen durchsimuliert. Folgende Temperaturen und Leistungen waren das Resultat:



Tabelle 5.4: Ergebnisse Simulation 1

Massenstrom [kg/s]	Twii [°C]	Leistung [kW]
1	53,952	133
2	45,877	203
3	39,93	235
4	36	252
5	33,37	263
6	31,453	270
7	30,006	275
8	28,88	279

Tabelle 5.5: Ergebnisse Simulation 2

Massenstrom [kg/s]	Twii [°C]	Leistung [kW]
1	54,55	136
2	46,053	205
3	40	236
4	36,076	253
5	33,396	263
6	31,465	270
7	30,014	275
8	28,885	279

Tabelle 5.6: Ergebnisse Simulation 3

Massenstrom [kg/s]	Twii [°C]	Leistung [kW]
1	55,61	140
2	46,358	207
3	40,121	237
4	36,135	254
5	33,428	264
6	31,485	271
7	30,027	276
8	28,894	280

Für eine aussagekräftige Analyse des Verhaltens mit den Einbauten bedarf es noch einer Abschätzung der Druckverluste. Die Rechnung ist im Anhang 3 erklärt. Sie lieferte die in Tabelle 5.7 – Tabelle 5.9 dargestellten Ergebnisse:

Die Resultate aus den Simulationen wurden im Excel in einem Diagramm dargestellt. Dieses soll als Entscheidungshilfe für die Tubinggrößenverteilung dienen und ist in Abbildung 5.4 dargestellt.



Tabelle 5.7: Ergebnis Druckverlust Simulation 1

Massenstrom [kg/s]	10* Druckverlust [bar]	Druckverlust [bar]
1	0,94	0,094
2	3,78	0,378
3	8,51	0,851
4	15,12	1,512
5	23,63	2,363
6	34	3,4
7	46,31	4,631
8	60,49	6,049

Tabelle 5.8: Ergebnis Druckverlust Simulation 2

Massenstrom [kg/s]	10*Druckverlust [bar]	Druckverlust [bar]
1	1,04	0,104
2	4,18	0,418
3	9,4	0,94
4	16,72	1,672
5	26,12	2,612
6	37,62	3,762
7	51,2	5,07
8	66,87	6,687

Tabelle 5.9: Ergebnis Druckverlust Simulation 3

Massenstrom [kg/s]	10*Druckverlust [bar]	Druckverlust [bar]
1	2,16	0,216
2	8,64	0,864
3	19,44	1,944
4	34,56	3,456
5	54	5,4
6	77,76	7,776
7	105,84	10,584
8	138,24	13,824

Als kurze Beschreibung des Diagrammes sind gewisse Tendenzen zu erwähnen. Bei allen Simulationen nehmen die nutzbaren Endtemperaturen (T_{wii}) mit der Erhöhung des Massenstromes ab. Grund dafür ist, die verkürzte Kontaktzeit mit dem Casing. Allerdings erkennt man keine lineare Abnahme, da ja durch die Erhöhung des Massenstromes auch die Fördergeschwindigkeit im Innentube ansteigt und somit der Temperaturabfall flacher erfolgt.

Die erhaltene Leistung steigert sich anfangs bei Erhöhung des Volumenstromes sehr stark, nähert sich aber in der Folge einem Plateauwert. Als einschränkender Parameter kann hier die zu schlechte Wärmeleitung im Gestein bzw. vom Gestein zum Heizwasserstrom gesehen werden.



Der Druckverlust steigt exponentiell, da durch die Erhöhung des Massenstromes bei gleichbleibender Querschnittsfläche zwangsläufig auch die Fördergeschwindigkeit erhöht wird. Diese geht in die Berechnung des Druckverlustes zum Quadrat ein und ist demnach der limitierendste Faktor.



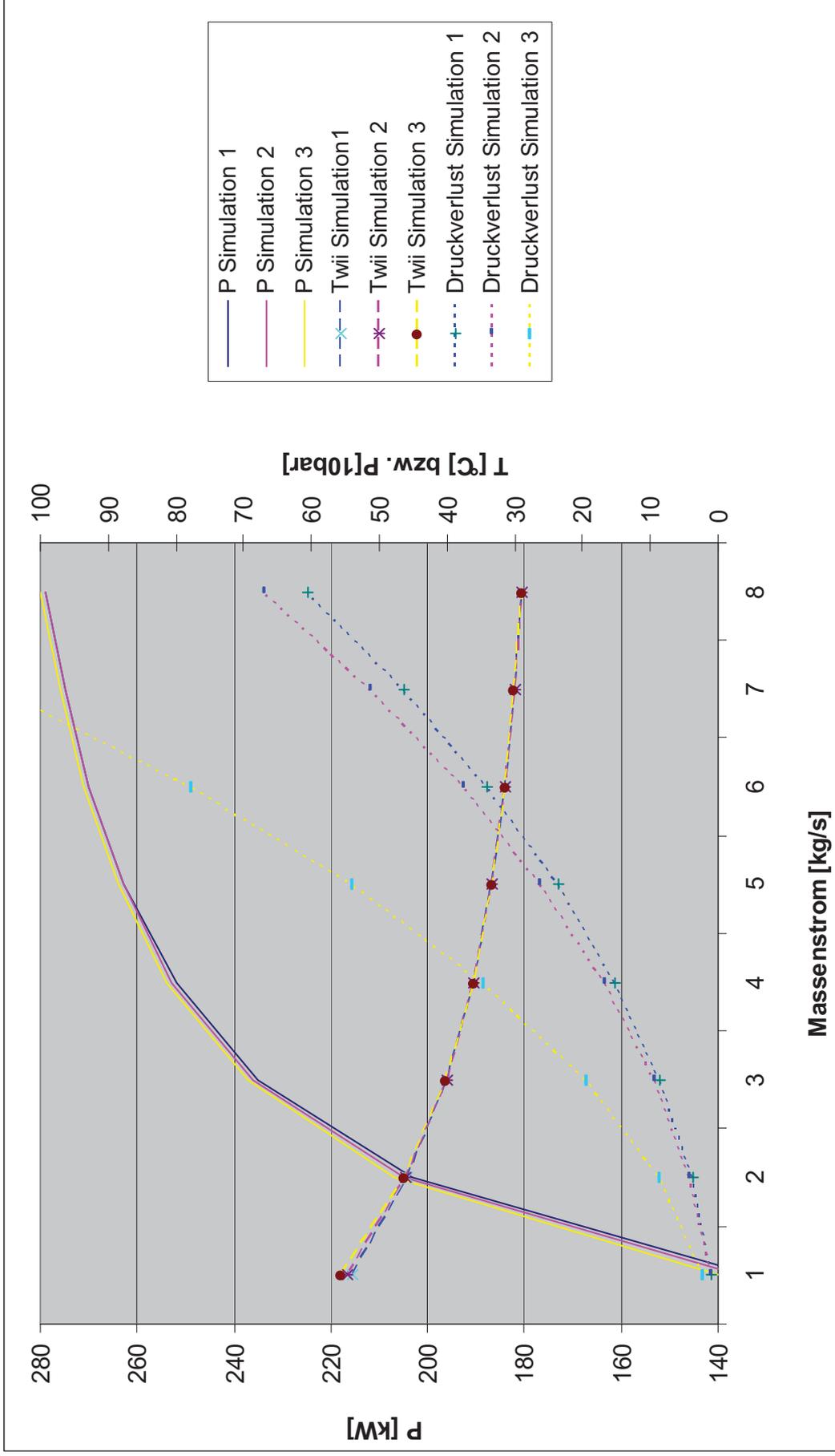


Abbildung 5.4: Leistung, Temperatur, Druck in Abhängigkeit des Massenstromes



Die drei Temperaturverläufe ähneln sich sehr stark. Bei der Leistungsbetrachtung erscheint die Simulation 3 als die beste Einbaumöglichkeit. Betrachtet man allerdings den Druckverlust über das Bohrloch, wird sehr schnell klar, dass diese Tubingverhältnisse ungeeignet sind.

Als sinnvollste Variante hat sich die zweite Simulation ergeben. Die zu erwartende Bohrlochleistung ist besser als bei Simulation 1 und die Druckverluste sind bis 7kg/s nicht deutlich schlechter. 7 kg/s wurden als Schlüsselmassenstrom angenommen. Für das Gewächshaus wird ein deutlich geringerer Massenstrom benötigt, um die Leistung zu erbringen. 7 kg/s wurden aber im Hinblick auf eine Angliederung anderer Abnehmer als optimale Fließgeschwindigkeit erachtet.

Interessant ist die Tatsache, dass sich die Differenzen zwischen den Leistungs- und Temperaturkurven bei steigendem Massenstrom verringern. Ab einer bestimmten Strömungsgeschwindigkeit des Heizmediums dürfte der Grenzschichtdicke eine untergeordnete Bedeutung zukommen, da die Kontaktzeit des Mediums im Steigrohr mit der Umgebung gering ist.

Parameter: Gärtnerei

Nachdem die Tubings nun ausgewählt sind, folgt die Suche nach der sinnvollsten Fahrweise in Bezug auf Ausgangstemperatur und Massenstrom. Derzeit ist einmal eine Nutzung des Bohrlochs als Energielieferant für die Gärtnerei Evelyne Bach vorgesehen. Anforderung an das Bohrloch ist dabei ein Leistungsoutput von 74,11kW.

Die genauen Unterlagen zur Simulation finden sich im Anhang 4. Grundsätzlich ist aber zu sagen, dass sich ein Massenstrom von 3,6 m³/h, eine Inlet - Temperatur von 39°C und eine sich daraus resultierende Twii am Sondenkopf von 58°C als idealste Variante qualifiziert haben.

Betrachtet man nun den Verlauf der Leistung über die Zeit ist erkennbar, dass bei dieser Simulation nach einer Laufzeit der Anlage von sechs Monaten eine Leistung von 77kW zur Verfügung steht. Selbst nach einer durchgehenden Laufzeit von einem Jahr wäre noch immer eine Leistung von 74kW verfügbar. So gesehen ist die Nutzung des Bohrloches bei diesen Parametern ohne Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit möglich.

Eine genauere Beschreibung des Bohrloches ist in Anhang 4 angefügt.



5.5.2 Container

Wie in Kapitel 3.2 für den Pilotcontainer beschrieben, wird auch in Hirschstetten im Grunde eine Anlage um einen Wärmetauscher errichtet.

Entscheidend im Container sind die zwei Pumpen, die das Heizmedium in den zwei Heizkreisläufen zirkulieren lassen. Außerdem werden noch vier Temperaturmessungen benötigt, um die Arbeitsweise des Wärmetauschers einstellen zu können. Pro Strom werden zusätzlich min. eine Durchflussmessung und eine Druckmessung eingebaut.

5.5.2.1 Wärmetauscher W1

In der Versuchsanlage Prottes PT11 wird mit einem Plattenwärmetauscher der Firma Tranter im Gegenstrombetrieb gearbeitet. Da die Rahmenbedingungen in Hirschstetten ähnlich sind, wird das System beibehalten.

Die Vorgaben für den Wärmetausch sind in Tabelle 5.10 dargestellt. Bis auf den Strom t_1'' sind die Werte durch die Versuchsanlage Prottes abgeschätzt [$t_1'^{36}$] bzw. durch die Gaswärmepumpe vorgegeben (Kapitel 6.1).

Die Temperatur lässt sich relativ einfach durch Bilanzierung ermitteln. Verwendet wird zum wiederholten Male folgender Zusammenhang:

$$P_{Strom.GWP} = m_{BL} * c_p * (t_1' - t_1'') \quad (5.1)$$

wobei P die an den Gaswärmepumpenstrom abgegebene Leistung, t_1' den warmen Heizmittelstrom warm und t_1'' den abgekühlten Heizmittelstrom darstellt.

Über die abgegebene Wärmeleistung kann daher die entstehende Temperatursenkung des Stromes berechnet werden. Diese wird durch Umformen wie folgt berechnet:

$$t_1'' = t_1' - \frac{P}{m * c_p}$$

Durch die 4 Gaswärmepumpen ist die Wärmeleistungsabgabe auf 70,4kW limitiert. So erhält man eine Rückströmtemperatur des Heizmediums in das Bohrloch von:

³⁶ Interne Kommunikation mit OMV EP



$$t_1'' = 303,6[K] - \frac{70,4 \left[\frac{kJ}{s} \right]}{1 \left[\frac{kg}{s} \right] * 3,93 \left[\frac{kJ}{kg * K} \right]}$$

$$t_1'' = 312,15K = 39^\circ C$$

Nachdem die Temperaturen und Massenströme bekannt sind, wird noch die Austauschfläche des Wärmetauschers zu berechnen.

Dabei gilt der in Formel 5.2 dargestellte Zusammenhang zwischen Übergabeleistung (P), Fläche (A), Temperaturdifferenz (Δt_m) und den k-Wert für die Wärmeübertragung.

$$P = k * A * \Delta t_m \quad (5.2)$$

Die mittlere Temperaturdifferenz wird dabei folgend ermittelt:

$$\Delta t_m = \frac{\Delta g - \Delta k}{\ln\left(\frac{\Delta g}{\Delta k}\right)} \quad (5.3)$$

Die Werte Δg und Δk sind in Abbildung 5.6 dargestellt und können wie folgt berechnet werden.

$$\Delta g = t_1' - t_2'' \quad (5.4)$$

$$\Delta g = 330,06K - 293,15K = 36,91K$$

³⁷ Kepplinger (2004), S. 136.



Tabelle 5.10: Wärmetauscher (Betriebsbedingungen)

Wärmetauscher (Container)	
von/zur Gaswärmepumpe:	
eintretender Strom (kalt):	15 °C
	3,58 kg/s
	12,74 m³/h
austretender Strom (warm):	20 °C
	3,58 kg/s
	12,74 m³/h
vom/zum Bohrloch:	
eintretender Strom (warm):	56,91 °C
	1,00 kg/s
	3,6 m³/h
austretender Strom (kalt):	39,00 °C
	1,00 kg/s
	3,6 m³/h
Wirkungsgrad Wärmetauscher:	
Wärmeübertragung:	100 %
Leistungsinhalt Strom GWP	70,40 kW
Leistungsinhalt Strom Bohrloch	70,40 kW

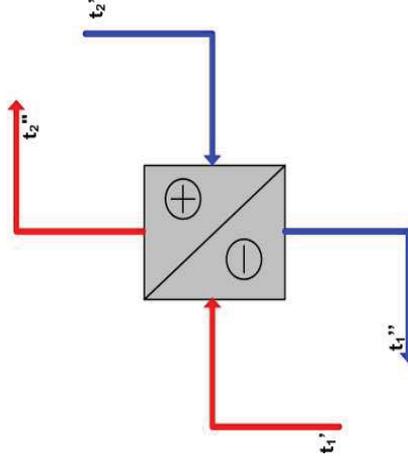


Abbildung 5.5: Prinzipskizze Wärmetauscher

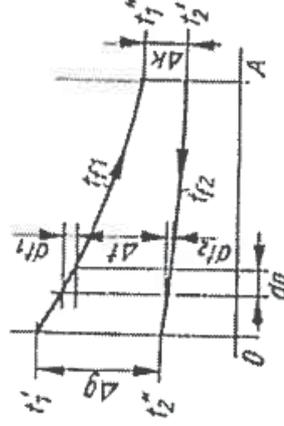


Abbildung 5.6: Temperaturgefälle bei Gegenstromschaltung³⁸

³⁸ Kepplinger (2004), S.136.



$$\Delta k = t_1'' - t_2' \quad (5.5)$$

$$\Delta k = t_1'' - t_2' = 312,15K - 288,15K = 24K$$

Somit ergibt sich ein Δt_m von:

$$\Delta t_m = \frac{36,91K - 24K}{\ln\left(\frac{36,91}{24K}\right)} = 29,99K$$

Wodurch sich eine Austauschfläche A von:

$$A = \frac{P}{k * \Delta T} = \frac{70.400W}{2.500 \frac{W}{m^2 K} * 29,99K} = 0,94m^2$$

berechnen lässt.

Allerdings sollte im Hinblick auf Anbindung anderer Abnehmer zur besseren Ausnützung des Bohrloches der Wärmetauscher größer dimensioniert werden.

5.5.2.2 Expansionsanlage

Das Dichte des Heizmediums ist temperaturabhängig. Um nun einer eventuellen Zerstörung der Anlage durch Überdruck bzw. Unterdruck als Folge der Volumenschwankungen entgegenzuwirken, wurden Drucksausgleichsgefäße konzipiert. Diese dienen schlicht und einfach dazu das überschüssige Volumen aufzunehmen (z.B. wenn die Betriebstemperatur steigt) und bei Bedarf wieder abzugeben (z.B. wenn die Betriebstemperatur sinkt).

Die Expansionsanlage im Pilotcontainer ist für das Bohrloch in Prottes überkonzipiert.

Eine Anleitung zur Ermittlung des Ausdehnungsvolumens findet man im Technischen Handbuch der Firma Eder³⁹ im Kapitel 3.9.5.2 auf Seite 33.

Als Berechnungsgrundlage dient folgende Formel:

³⁹ Eder (2003), S.33.



$$V_{AD} = W_{AN} * f_{AD} \quad (5.6)$$

wobei V_{AD} das Ausdehnungsvolumen, W_{AN} den Wasserinhalt der Anlage und f_{AD} den temperaturabhängigen Ausdehnungsfaktor beschreibt.

Die Ausdehnungsfaktoren des Heizungsmediums sind in Tabelle 5.11 abgebildet. Laut der Simulation ist mit Temperaturen um die 70°C zu rechnen. Daher kann der temperaturabhängige Ausdehnungsfaktor mit

Tabelle 5.11: temperaturabhängige Ausdehnungsfaktoren und Verdampfungsdrücke⁴⁰

Maximale Betriebstemperatur [°C]	Temperaturabh. Ausdehnungsfaktor f_{AD} [l/l]	Verdampfungsdruck P_{verd} [mWs]/[bar]
30	0,0193	-
40	0,0228	-
50	0,0271	-
60	0,0321	-
70	0,0378	-
80	0,0442	-
90	0,0511	-
100	0,0587	0/0,01
110	0,0669	4/0,43
120	0,0756	10/0,98
130	0,0850	17/1,70
140	0,0951	26/2,61
150	0,1058	38/3,76
160	0,1172	52/5,18
170	0,1295	69/6,92
180	0,1425	90/9,03

$$f_{AD}=0,0378 \text{ [l/l]}$$

abgelesen werden.

Um nun das Ausdehnungsvolumen berechnen zu können, muss der Wasserinhalt der Anlage bekannt sein. Das Volumen wird mit den beschlossenen Tubing Sizes wie folgt berechnet:

Das Volumen im inneren Tube beträgt:

⁴⁰ Eder (2003), S.33.



$$\begin{aligned}
 V_{\text{inneres.Tubing}} &= \frac{d_{\text{Tube.innen}}^2 * \pi}{4} * T_{\text{Bohrloch}} \\
 &= \frac{0,09^2 * \pi}{4} * 2.530 = 16,095 \text{m}^3
 \end{aligned}$$

Der Ringspalt hat über das gesamte Bohrloch ein Volumen von:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{Ring}} &= \left(\frac{d_{\text{Ca sin g}}^2 * \pi}{4} - \frac{d_{\text{Tube.außen}}^2 * \pi}{4} \right) * T_{\text{Bohrloch}} \\
 &= \left(\frac{0,2445^2 * \pi}{4} - \frac{0,1778^2 * \pi}{4} \right) * 2.530 = 55,97 \text{m}^3
 \end{aligned}$$

Somit ergibt sich ein Gesamtvolumen von:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{gesamt}} &= V_{\text{inneres.Tubing}} + V_{\text{Ring}} = 16,095 \text{m}^3 + 55,97 \text{m}^3 \\
 &= 72,065 \text{m}^3 = 72.065 \text{l}
 \end{aligned}$$

Das Anlagenvolumen besteht neben den Wassermengen im Bohrloch noch aus jenen im Container und am Weg zu diesem. Als Gute Näherung wurde ein Aufschlag auf

$$V = 75.000 \text{l}$$

betrachtet.

Es kann folglich ein Ausdehnungsvolumen von

$$V_{AD} = 75.000 \text{[l]} * 0,0378 \text{[l/l]} = 2.835 \text{l}$$

berechnet werden.

Allerdings muss man sich die Frage der Notwendigkeit eines so großen Ausdehnungsbehälters stellen. Die Temperatur der Gesteinsschicht in einer gewissen Tiefe ist immer dieselbe. Nach dem Anfahren der Anlage pendelt sich auch die Temperatur im Heizmedium an dieser Stelle auf einen gewissen Wert ein. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass in jeder Tiefe des Bohrlochwärmetausches die Temperatur des Heizmediums konstant bleibt.

Die größte Volumensänderung erfolgt beim Auffüllen, da hier Wasser von Umgebungstemperatur auf die in den verschiedenen Gesteinsschichten vorhandenen Temperatur erwärmt bzw. abgekühlt wird. Nach dem Einstellen auf die vorhandenen



Bedingungen gibt es im Grunde nur mehr durch die Umgebungstemperaturen bedingte Schwankungen des Wasservolumens.

Eine normale Hausheizung bedient sich eines Ausdehnungsbehälters von 24 Litern. Für die Anlage wurden zwei 500 Liter Ausdehnungsbehälter als ausreichend erachtet.⁴¹

Im Pilotcontainer befindet sich eine Elko-mat St-M2 Steueranlage, ein 1000 Liter Eder Vorschaltgefäß und 3 1500 Liter fassende Expansionsgefäße.

Die maximale Betriebstemperatur im System darf 90°C nicht übersteigen, da es ansonsten zur Beschädigung der im Behälter eingebauten Butyl-Kautschuk-Blase kommt.⁴² (Maximale Dauerbelastung der Membrane nach DIN 4807 – Teil 3: 70°C)⁴³ Das Vorschaltgefäß im Pilotcontainer wurde eingebaut, da mit höheren Temperaturen gerechnet wurde bzw. bei tieferen Sonden höhere Temperaturen erwartet werden können. Bei der vorgeschlagenen Fahrweise ist man mit der Sonde Hirschstetten 5 aber meilenweit entfernt von einer Dauerbelastung um 70°C. Daher entfällt das Vorschaltgefäß. Aus dem Gespräch mit Herrn DI Wieseneder vom 13. Juli 2009 ging ebenso hervor, dass die Steueranlage eingespart werden könnte und daher im Grunde die Expansionsanlage auf 2x 500 Liter großen Expansionsgefäße reduziert werden kann.

5.5.2.3 Weiteres mögliches Einsparungspotential im Container⁴⁴

Der Massenstrom der Pumpen wird über Regelventile gesteuert. Im Grunde erzeugt dieses einen Druckverlust. Die Pumpe würde eigentlich mehr Fördern können, wird aber auf den gewünschten Volumenstrom gedrosselt. Kritisch betrachtet ist die Schaltung eine Energievernichtung. Es stellt sich die Frage, ob eine Massenstromsteuerung über die Pumpe durch Frequenzumwandler nicht energetisch und demnach auch kostenmäßig sinnvoller wäre.

Weiters muss der Werkstoff überdacht werden. Die Komponenten im Pilotcontainer sind aus Edelstahl gefertigt. In den kommenden Jahren wird dieser des Öfteren übersiedelt werden, da mehrere Sonden auf ihre geothermische Brauchbarkeit untersucht werden. Falls das Projekt in Österreich funktioniert, wäre wahrscheinlich auch ein Probetrieb in anderen Ländern, in denen die OMV aktiv ist, wie Rumänien u.a. denkbar. Die hohen Temperaturschwankungen, Klimawechsel, Luftfeuchtigkeitsveränderungen u.a. verlangen

⁴¹ Aus dem Gespräch mit Herrn DI Wieseneder vom 13. Juli 2009 (Anhang 2).

⁴² Eder (2006), S.9.

⁴³ Eder (2006), S.9.

⁴⁴ Aus dem Gespräch mit Herrn DI Wieseneder (Anhang 2)



einen widerstandsfähigen Werkstoff wie Edelstahl. Der Container in Hirschstetten wird jedoch nicht so stark belastet werden. Daher kann beim Kostenfaktor Werkstoff einiges eingespart werden.

Weiteres Einsparungspotential dürfte beim Explosionsschutz liegen. Da es normalerweise zu keiner Gasentwicklung kommen dürfte, ist die Sinnhaftigkeit des Einbaus generell fraglich. Wird dennoch Wert darauf gelegt, würde die Trennung des Schaltschranks und des Containers zu einer bedeutenden Kostensenkung führen.

Der Schaltschrank ist gasdicht und muss eine durch Funkenflug verursachte Explosion im Inneren aushalten können. Nach erfolgter Trennung vom Container in einen separaten Raum, kann er mit geringeren sicherheitstechnischen Anforderungen und demnach billiger, gebaut werden. Die Gesamtgröße des Containers könnte auf die Hälfte reduziert werden.

5.5.3 Gaswärmepumpen

Die Gaswärmeabsorptionspumpen sind der limitierende Faktor der Anlage. Sie limitieren bzw. bestimmen den weiteren Aufbau des Konzeptes.

Verwendet werden 4 Gaswärmepumpen der Firma Robur Serie WS. Eine Pumpe liefert eine Heizleistung von $\sim 42,8\text{kW}$. Betrachtet man Tabelle 5.14, so erhält man für die verwendete Gasabsorptionswärmepumpe GAHP Serie WS der Firma Robur eine Heizleistung von $43,9\text{kW}$. Allerdings ist die Leistung abhängig vom Kaltwassereintritt und von der Warmwasservorlauftemperatur. Auf der Homepage eines anderen Herstellers, der Firma Helioplus, wurde dieser Zusammenhang für eine vergleichbare Pumpe gefunden. Durch Extrapolation ergab sich eine zu erwartende Heizleistung von $39,5\text{kW}$. (Tabelle 5.12) Der in den Berechnungen verwendete Wert liegt zwischen den beiden gefundenen und dürfte für die GAHP Serie WS zutreffend sein.

Die Heizleistung beinhaltet laut Tabelle 5.14 $17,6\text{kW}$ aus erneuerbaren Quellen. In diesem Fall aus der Sonde gewonnene Erdwärme. Der Gasbrenner steuert $25,2\text{kW}$ bei, die für die Desorption verwendet werden. Die Temperaturdifferenz zwischen Eintritt Gaswärmepumpe auf der kühlen/ energieabgebenden Seite (Strom 1) und dem Austrittstrom (2) beträgt 5°C .

Grundsätzlich wäre eine serielle Anordnung vorteilhaft, da dadurch am Wärmetauscher eine größere Temperaturdifferenz zwischen austretendem Strom und eintretendem Strom herrschen würde. Bei 4 Gaswärmepumpen wären ΔT folglich 20°C . Bei paralleler Schaltung 5°C . Allerdings wird von der Herstellerfirma keine Funktionsgarantie auf eine



serielle Schaltung gegeben, da in der Regel ein paralleler Einbau stattfindet. Daher wird auch in diesem Fall die parallele Variante gewählt.

Die zu Spitzenzeiten benötigte Gesamtleistung beträgt 241,5kW. Theoretisch bräuchte man nun eine Kaskade mit sechs Absorptionsgaswärmepumpen um die Leistung zu decken. Allerdings wäre diese Variante aus mess- und regelungstechnischer Sicht sehr aufwändig. Daher wird eine 4er Kaskade gewählt. Die Differenz wird mittels eines 150kW Spitzenlastbrenners eingebracht.

Die Gaswärmepumpen werden im Gegenstrom betrieben. Auf der kalten Seite treten die Ströme 1 und 2 mit den Temperaturen T1 bzw. T2 und dem an der Durchflussmessung FQT03 gemessenen Strom ein bzw. aus. Dabei gilt die Formel 3.1.

Tabelle 5.12: Leistung in Abhängigkeit mit Kaltwassereintritt und Warmwasservorlauftemperatur⁴⁵

Kaltwasser-	Warmwasser-Vorlauftemperatur (Kondensatorausgang) [°C]												
	40°C				50°C				60°C				70°C
	P _H	P _K	G.U.E. (%)		P _H	P _K	G.U.E. (%)		P _H	P _K	G.U.E. (%)		P _H
0	40,1	15,8	156	61	37,1	13,5	144	53	34,9	11,0	136	43	
5	40,7	16,4	158	64	38,3	14,6	149	57	36,2	12,6	141	49	
10	41,1	16,8	160	65	39,7	15,6	154	61	38,1	14,1	148	55	
15	41,3	17,0	161	66	40,5	16,3	158	62	39,4	15,2	153	59	
20	41,4				40,9				39,9				
25	41,45				41,1				40,2				38,75
												P _H (65°C) ~39,5kW	

P_H [kW] Heizleistung

P_K [kW] Kühlleistung

G.U.E. (%) auf den Gasverbrauch bezogener Wirkungsgrad (EN 12309 -) (Heizen, Kühlen)

zwischen den Temperaturen. Die Entzugsleistung P ist pro Absorptionswärmepumpe mit 17,6 kW vorgegeben. Die Temperaturen T1 und T2 wurden auf 20°C bzw. 15°C festgelegt. Dadurch ergab sich ein Volumenstrom an Fördermedium von 3,19m³/h pro Pumpe.

Die warme Seite der Gaswärmepumpe wird durch die Maximaltemperatur für den Austritt an der GWP mit T3=65°C und die Minimaltemperatur am Eintritt mit T4=40°C limitiert, welche für das Gewächshaus benötigt werden. Für die Beheizung wäre ein noch höheres T3 von Vorteil, allerdings reicht die Temperatur vollkommen aus, wie aus den Gesprächen mit Herrn Bach hervorging. Der Wert für T4 ist genauso an die aus den Gesprächen erfahrenen Werten angelehnt. Der Massenstrom der warmen Seite ergibt wieder durch die obige Gleichung bedingt 1,55m³/h pro Wärmepumpe.

⁴⁵http://www.helioplus.at/index.php?set_language=de&ccpage=project_systemedetail&set_project_systeme=1 (Zugriff: 09.06.2009)



Tabelle 5.13: Gasabsorptionspumpe Betriebsbedingungen

Gaswärmeabsorptionspumpe	
Typ:	Robur GAHP Serie WS
Heizleistung:	42,8 kW
Entzugsleistung:	17,6 kW
Gasbrennerleistung:	25,2 kW
Delta T(1,2)	5 °C
cp - Medium:	3,93 kJ/(kg*K)
Dichte (Medium):	1012 kg/m ³
T1=	20 °C
M1=	0,90 kg/s
T2=	3,19 m ³ /h
M2=	15 °C
T3=	0,90 kg/s
M3=	3,19 m ³ /h
T4=	40 °C
M4=	0,44 kg/s
	1,55 m ³ /h
	65 °C
	0,44 kg/s
	1,55 m ³ /h

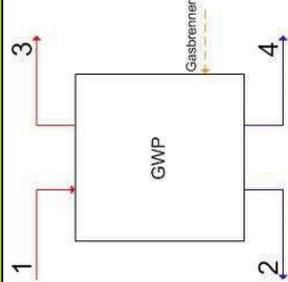


Tabelle 5.14: Technische Daten GAHP Serie WS⁴⁶

HEIZBETRIEB UND KOHLBETRIEB GLEICHZEITIG	
Betriebspunkt W10/W35	G.U.E. energetischer Gas-Wirkungsgrad Heizleistung kW 244 439
Betriebspunkt W10/W50	Entzugsleistung (erneuerbare Energie) G.U.E. energetischer Gas-Wirkungsgrad kW 176 231
	Heizleistung Entzugsleistung (erneuerbare Energie) kW 41,6 16,6
	Nennwasserdurchsatz (ΔT = 10 °C) Druckverlust bei Nennwasserdurchsatz (W10/W50) Max. Wassertemperatur am Ausgang Maximale Wassertemperatur am Eingang °C 65 °C 55
TECHNISCHE DATEN BRENNER	
Heizleistung	kW 25,2
Gasverbrauch	Erdgas G20 ⁽¹⁾ Flüssiggas G30/G31 ⁽²⁾ m ³ /h kg/h 2,72 2,09/2,00
ELEKTRISCHE DATEN	
Spannung	230 V – 50 Hz
Elektrische Nennleistung ^a	kW 0,47
INSTALLATIONS DATEN	
Betriebsgewicht	kg 300
Schalldruckpegel gemessen in 10 m Abstand ⁽³⁾	Wasser Gas dB(A) * F 39 114
Anschlüsse	* F 34
Restpressung Rauchabzugsrohr	mm 80
Restpressung Rauchabzugsrohr	Pa 80
Abmessungen	Breite Tiefe Höhe mm mm mm 850 690 1.283
Schutzgrad	IP X5D

⁽¹⁾ ± 10% in Abhängigkeit von der Versorgungsspannung und der Toleranz der Stromaufnahme der Elektromotoren.
⁽²⁾ Freies Feld vor dem Gerät, Richtungsvektor z. Die Werte beziehen sich auf die gemessenen Höchstwerte.
⁽³⁾ H₁ 34,02 MUmp (9,45 kWh/m³) bei 15 °C - 10,13 mbar.
⁽⁴⁾ H₁ 46,34 MUmp (12,67 kWh/kg) bei 15 °C - 10,13 mbar.

⁴⁶ Quelle: Robur (2009); S. 15.



5.5.4 Schichtkessel

Als Puffer wird ein 5.000 Liter Heizmedium fassender Schichtkessel verwendet. Dieser wird von der Gaswasserpumpe mit 65°C heißem Wasser gespeist und führt 40°C kaltes Wasser an diese zurück. Abnehmer des Warmwassers sind das Gewächshaus und die Wohngebäude mit den Werkstätten.

Am Kopf des Schichtkessels herrscht eine Temperatur von 65°C, am Boden beträgt die Temperatur um 40°C.

Eine Verringerung des Fassungsvermögens des Kessels wäre ungünstig, denn um die 7m³ verlassen bzw. treten in diesen pro Stunde ein. Würde man nun das Volumen verringern, käme es zu starken Strömungen, die die Schichten vermischen könnten. Sozusagen zum Gegenteil des erhofften Effektes. Bei guter Isolierung würde nichts gegen einen größeren Schichtkessel sprechen, allerdings wäre dieser wohl zu kostenintensiv und würde zu viel Platz benötigen.

Abnehmerseitig werden 242 kW benötigt. Die Gaswärmepumpen stellen aber nur 171kW zur Verfügung. Die Differenz muss von einem 150kW Spitzenlastbrenner aufgeglich werden.

Tabelle 5.15: Parameter Schichtkessel

Schichtkessel			
Gaswärmepumpe seitig:			
Warmwasser:	T=	65	°C
	M=	1,74	kg/s
		6,20	m ³ /h
Kaltwasser	T=	40	°C
	M=	1,74	kg/s
		6,20	m ³ /h
P(Eintrag):	Pein=	171,20	kW
Abnehmer seitig:			
Warmwasser:	T=	65	°C
	M=	2,46	kg/s
		8,85	m ³ /h
Kaltwasser:	T=	40	°C
	M=	2,46	kg/s
		8,85	m ³ /h
P(Austrag)=	Paus=	241,5	kW
Gasbrenner (150kW):			
P(Einbringung):	Pdiff=	70,30	kW



5.5.5 Heizkreislauf Gewächshauskomplex

Über den von Herrn Bach angegebenen jährlichen Heizölverbrauch und der Annahme, dass 90% für die Heizung des Gewächshauskomplexes benötigt wurden, errechnete sich in Kapitel 5.1.3 dessen Jahresenergiebedarf von 271,8MWh.

Nun stellt sich die Frage welche Leistung zum Beheizen in der Regel benötigt wird. Bei der Betrachtung, der in Kapitel 5.1.5 erarbeiteten Wärmebedarfskurve, ist eine Heizdauer von 7-8 Monaten ersichtlich. Der Großteil der Wärme wird dabei im Januar, Februar, März, November und Dezember benötigt. Um nun die notwendige Heizleistung der Anlage einschätzen zu können, wird der gesamte Energiebedarf auf diese Monate aufgeteilt.

In den kältesten Monaten wird ganztägig beheizt. Allerdings durch die Sonneneinstrahlung am Tag deutlich weniger als in der Nacht. Um diesen Parameter genüge zu tun, erfolgt eine Verteilung der Energie auf 10 Stunden. Somit soll das Heizsystem eine Leistung von:

$$P_{\text{Gewächshauskomplex}} = \frac{271.800 \text{ kWh/Jahr}}{4 \text{ Monate/Jahr} * 30 \text{ Tage/Monat} * 10 \text{ h/Tag}} = 226,5 \text{ kW}$$

zur Verfügung stellen.

Die Heizleistung sollte nun zum Großteil aus der Geothermie – Gaswärmepumpen Kombination stammen. Der Rest wird über den Spitzenlastbrenner bereitgestellt. Kommt es nun zu einem stärkeren Kälteeinbruch, muss dieser durch den Brenner gedeckt sein. Daher sollte der Spitzenlastbrenner darauf ausgelegt sein, ein solches Maximum an benötigter Leistung auch kompensieren zu können. Geschätzte 150kW dürften genügen.

Tabelle 5.16: Parameter Gewächshauskomplex

Heizung Gewächshaus			
Versorgung:	1200	h pro Jahr	
Benötigte Wärmeenergie:	271.800,00	kWh/Jahr	
kritischer Bedarf:	226,50	kJ/s	Beheizung Winter
Vorlauf:	T=	65	°C
	M=	2,31	kg/s
		8,30	m³/h
Rücklauf:	T=	40	°C
	M=	2,31	kg/s
		8,30	m³/h

5.5.6 Heizkreislauf Haus

Als ganzjährigen Wärmebedarf für das Haus und die umliegenden Werkstätten wurden 30.000kWh angenommen. Die Wärmebedarfskurve dürfte jener des



Gewächshauskomplexes sehr stark ähneln. Da kurzfristige Wetterschwankungen, durch die bessere Isolation des Hauses, keine so großen Auswirkungen haben wie im Gewächshaus, wird es auch bei der Beheizung keine kurzen Spitzebelastungen geben. Außerdem sind kurze Schwankungen der Temperatur nicht so tragisch, da nicht der gesamte Anbau am Spiel steht.

Ausgegangen wird davon, dass 2.000 Stunden pro Jahr beheizt wird. Demnach würde eine Heizleistung von:

$$P_{Haus} = \frac{30.000 \text{ kWh/Jahr}}{2.000 \text{ h/Jahr}} = 15 \text{ kW}$$

genügen.

Tabelle 5.17: Parameter Heizung

Heizung Haus			
Versorgung:	2.000,00	Stunden pro Jahr	
Benötigte Wärmeenergie:	30.000,00	kWh/Jahr	
Durchschnittsbedarf:	15,00	kJ/s	
Vorlauf:	T=	65	°C
	M=	0,15	kg/s
		0,55	m³/h
Rücklauf:	T=	40	°C
	M=	0,15	kg/s
		0,55	m³/h

5.6 Variante 2

Das Fließbild zur zweiten Variante einer technischen Integration ist in Abbildung 5.7 dargestellt. Das Bohrloch steht wieder über einen indirekten Wärmetausch mit dem Abnehmer in Kontakt. Die Gründe dafür wurden bereits in Variante 1 diskutiert.

Der am Wärmetauscher geothermisch beheizte Strom gelangt in einen Verteiler, der den Gewächshauskomplex und das Wohnhaus mit Wärme versorgt. Sollte mehr Energie benötigt bzw. höhere Temperaturen gefordert werden, wird dies über eine Energiequelle aus nicht erneuerbarer Energie zur Verfügung gestellt. Der derzeit installierte Ölbrenner könnte demnach vorerst weiterbenutzt werden.

Als Vorteil gegenüber dem ersten Integrationsversuch kann das Verringern der technischen Bestandteile im System gesehen werden. Dies spart Investitionskosten und reduziert die Fehleranfälligkeit. Variante 1 arbeitet mit vier Absorptionsgaswärmepumpen, was einen



großen mess- und regelungstechnischen Aufwand darstellt und demnach auch ein hohes Risikopotential in Bezug auf Störungen haben dürfte.

Einen weiteren signifikanten Vorteil stellt die verbesserte Nutzung des Bohrloches dar. Während im vorangegangenen Schema 70kW aus dem Bohrloch entzogen werden, kommt es hier im Idealfall zu einem Entzug von 168kW. Das Energieflussdiagramm dazu ist in Abbildung 5.8 dargestellt.

Als Nachteil des Schemas kann die Abhängigkeit vom Ölbrenner für die Bereitstellung von hohen Temperaturen gesehen werden. Das Bohrloch liefert eine große Leistung, jedoch nur mit 45°C. Wird im Gewächshauskomplex bzw. im Haus höhertemperiertes Heizmedium benötigt muss zugefeuert werden. In Variante 1 kommt der Strom über Bohrloch und Gaswärmepumpen bereits mit einer Temperatur von 65°C zum Schichtkessel bzw. dann zum Abnehmer.

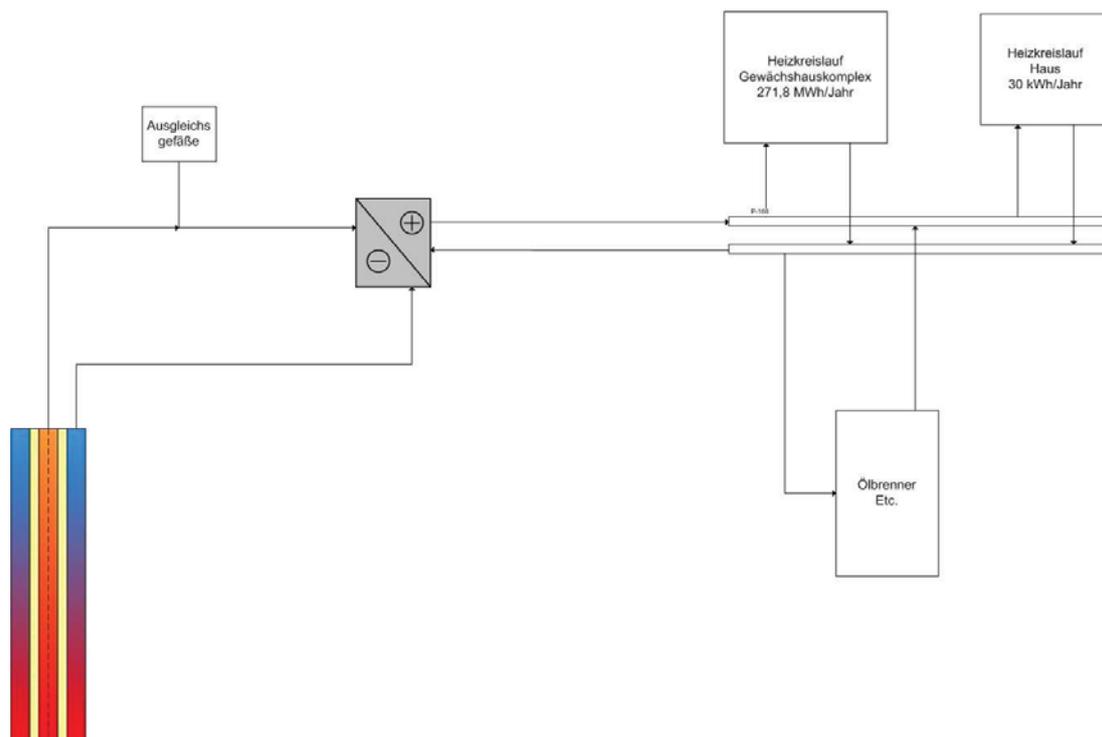


Abbildung 5.7: Prinzipskizze Anlagenkonzept

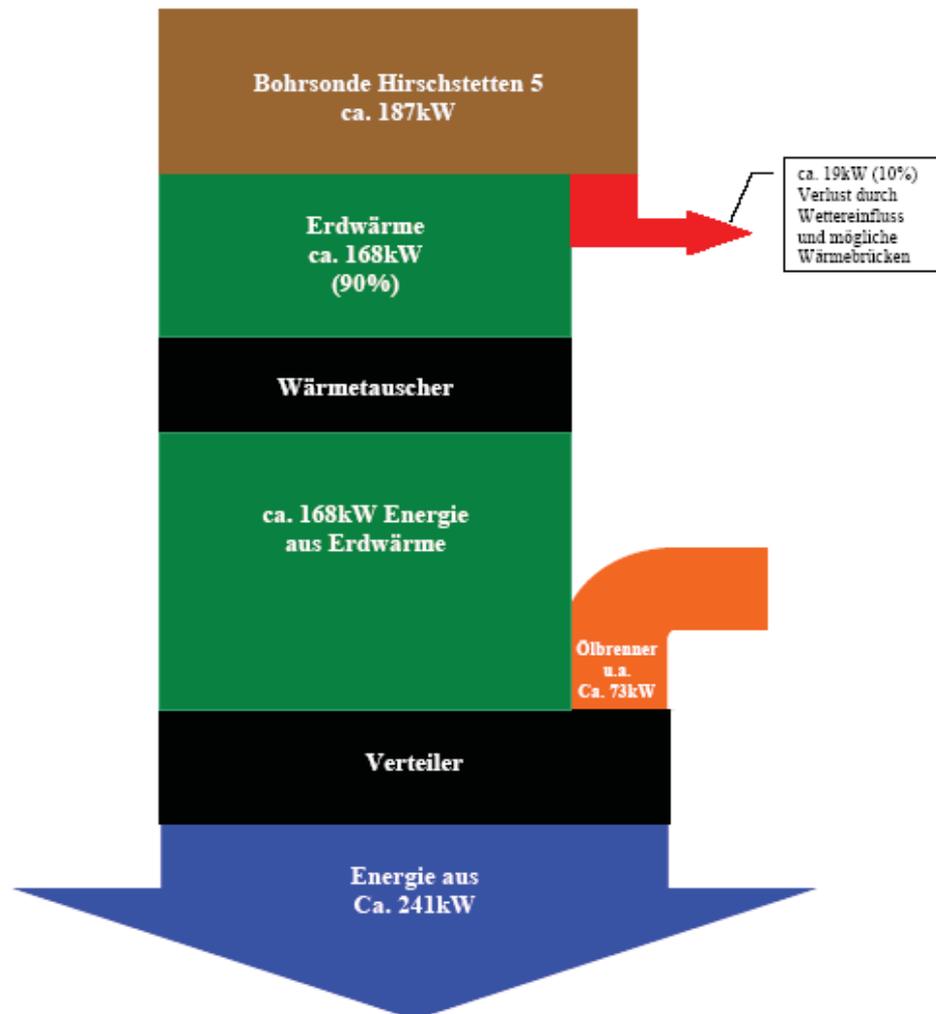


Abbildung 5.8: Energieflussdiagramm Variante 2

5.6.1 Borehole Heat Exchanger

Die Bohrlocheinbauten werden ähnlich jenen in Kapitel 5.1.1 angenommen. Diese Integrationsvariante verzichtet auf die Gaswärmepumpen. Somit entfallen diese auch als limitierender Faktor. Dem Bohrloch kann mehr Leistung entzogen werden. Die Simulation im Anhang 5 zeigt, dass es zu einem Output von 168kW kommt. Die Bohrlochparameter sind in Tabelle 5.18 dargestellt.

Tabelle 5.18: Parameter Bohrloch

Bohrloch		
Ausgang (Tube)		
Temperatur:	45,23	°C
Massenstrom:	10	m³/h
	2,81	kg/s
Eingang (Case):		
Temperatur:	30,00	°C
Massenstrom	10	m³/h
	2,81	kg/s
cp - Medium:	3,93	kJ/(kg*K)
Dichte (Medium):	1012	kg/m³
Pnetto=	168,26	kW
P + Verluste (Wärmebrücken...):	186,95	kW
Verluste:	18,70	kW
Verluste Bohrloch:	10	%

5.6.2 Container

Für den Container gelten die in Kapitel 5.1.2 beschriebenen Anforderungen. Die Parameter für den Wärmetausch sind in Tabelle 5.19 abzulesen.

Tabelle 5.19: Parameter Wärmetauscher Variante 2

Wärmetauscher (Container)		
Bohrloch:		
Eintritt in WT (vom Tube):	45,23	°C
	10	m³/h
	2,81	kg/s
Austritt aus WT (ins Case):		
	30,00	°C
	10	m³/h
	2,81	kg/s
Verteiler:		
Eintritt WT:	23	°C
	8	m³/h
	2,25	kg/s
Austritt WT:	42,0375	°C
Austritt WT:	8	m³/h
	2,25	kg/s
Leistungen:		
Wärmeübergang:	100	%
P(Bohrlochstrom):	168,26	kW
P(Verteilerstrom):	168,26	kW
P-Verlust):	0,00	kW

Ähnlich der Berechnung für die erste Variante, wird auch hier die Wärmetauscherfläche mittels der Zusammenhänge 5.2, 5.3, 5.4 und 5.5 abgeschätzt:



$$P = k * A * \Delta t_m$$

$$\Delta t_m = \frac{\Delta g - \Delta k}{\ln\left(\frac{\Delta g}{\Delta k}\right)}$$

$$\Delta g = t_1' - t_2'' = 318,38K - 314,23K = 4,15K$$

$$\Delta k = t_1'' - t_2' = 303,15K - 296,15K = 7K$$

Somit ergibt sich ein Δt_m von:

$$\Delta t_m = \frac{4,15K - 7K}{\ln\left(\frac{4,15K}{7K}\right)} = 5,45K$$

Wodurch sich eine Austauschfläche A von:

$$A = \frac{P}{k * \Delta T} = \frac{159.840W}{2500 \frac{W}{m^2 K} * 5,45K} = 11,7m^2$$

berechnen lässt.

Die Temperaturen im Kreislauf bewegen sich laut Anhang 5 um 50°C. Das ergibt einen Ausdehnungsfaktor von:

$$f_{AD} = 0,0271$$

Da das zirkulierende Heizmedium dasselbe Volumen besitzt, wie bei der ersten Annahme ergibt sich ein Ausdehnungsvolumen von:

$$V_{AD} = 75.000[l] * 0,0271[l/l] = 2.032,5l$$

Allerdings wird auch diesmal mit 2x 500 l fassenden Ausdehnungsbehältern genüge getan sein.



5.6.3 Ölbrenner

Falls die vom Bohrloch zur Verfügung gestellte Energie zu gering ist, muss zusätzlich Energie über eine zweite Quelle eingebracht werden. Im Fall der Gärtnerei Evelyne Bach in Hirschstetten ist ein Ölbrenner bereits vorhanden. Demnach könnte vorerst der fehlende Input von diesem zur Verfügung gestellt werden. Weiters besteht die Möglichkeit, dass an kälteren Tagen höhertemperiertes Heizmedium benötigt wird. Aus dem Bohrloch bekommt man jedoch nur 45°C. Zum Aufheizen auf z.B. 60°C wird nun der Ölbrenner verwendet. Die in Tabelle 5.20 dargestellten Parameter gelten für eine Heizperiode ohne besondere Anforderungen an die Temperatur.

Tabelle 5.20: Parameter Ölbrenner

Ölbrenner		
vom Verteiler:		
T=	23	°C
	1,76	m ³ /h
	0,49	kg/s
zum Verteiler:		
T=	65	°C
	1,76	m ³ /h
	0,49	kg/s
Ölbrennerleistung:		
P=	81,66	kW

5.6.4 Verteiler

Der Verteiler ist die Schnittstelle zwischen Energieerzeugern und Energieabnehmern. Geothermisch aufgeheiztes Wasser tritt ein und wird falls notwendig durch den Heizkreislauf um den Ölbrenner unterstützt. Die benötigte Energie gelangt dann ins Gewächshaus oder in den Heizkreislauf des Wohnhauses.



Tabelle 5.21: Parameter Verteiler

Verteiler		
Input (Geothermie):		
P=	159,84	kW
T=	41,085625	°C
M=	8	m³/h
	2,25	kg/s
Input (Ölbrenner):		
P=	81,66	kW
T=	65	°C
M=	1,76	m³/h
	0,49	kg/s
Output (Gewächshauskomplex):		
P=	226,50	kW
T=	45,40	°C
M=	9,15	m³/h
	2,57	kg/s
Output (Haus):		
P=	15,00	kW
T=	45,40	°C
	0,61	m³/h
	0,17	kg/s
P (Input):	159,84	kW
P (Output):	241,50	kW
Differenz:	81,66	kW

5.6.5 Heizung Gewächshaus

Die Abnehmerleistung bleibt klarerweise unverändert und wurde in Kapitel 5.5.5 bereits ermittelt. Es ändern sich lediglich die Massenströme und Temperaturen, da diese nicht mehr an die Absorptionsgaswärmepumpen angepasst werden müssen.

Tabelle 5.22: Parameter Gewächshaus

Heizung Gewächshaus			
Versorgung:		1200	h pro Jahr
Benötigte Wärmeenergie:		271.800,00	kWh/Jahr
kritischer Bedarf:		226,50	kJ/s
Vorlauf:	T=		45,40 °C
	M=		2,57 kg/s
			9,15 m³/h
Rücklauf:	T=		23 °C
	M=		2,57 kg/s
			9,15 m³/h



5.6.6 Heizung Haus

Für die Beheizung des Hauses gilt ähnliches wie für das Gewächshaus. Die benötigte Leistung wurde bereits für die vorhergehende Variante ermittelt. Es ändern sich lediglich die Massenströme und Temperaturen.

Tabelle 5.23: Parameter Haus

Heizung Haus			
Versorgung:	2.000,00	Stunden pro Jahr	
Benötigte Wärmeenergie:	30.000,00	kWh/Jahr	
Durchschnittsbedarf:	15,00	kJ/s	
Vorlauf:	T=	45,40	°C
	M=	0,17	kg/s
		0,61	m ³ /h
Rücklauf:	T=	23	°C
	M=	0,17	kg/s
		0,61	m ³ /h



6 Ergebnisse / Diskussion

Nach den Vorarbeiten, der Analyse des Bohrloches und dem Heizverhalten der Gärtnerei wurden zwei Möglichkeiten zur Integration des Bohrlochwärmetauschers in das dortige derzeitige Heizsystem erarbeitet.

Die erste Variante arbeitet mit vier Absorptionsgaswärmepumpen. Jeder wird eine Leistung von 17,6kW durch den Bohrlochwärmetausch zugeführt. In Summe werden dem Erdreich demnach 70,4kW zur Beheizung der Gärtnerei zugegeben. Der 1000kW Ölbrenner, welcher derzeit in Verwendung steht, kann vorerst als Spitzenlastbrenner weiterverwendet werden. Der Gewächshauskomplex und das Haus versorgt man über einen Schichtkessel. Dieser enthält 60°C warmes Heizmedium, aufgeheizt durch die GWP's und den Spitzenlastbrenner.

Die zweite Variante nützt die aus dem Bohrloch stammende Energie nach dem Wärmetausch direkt. D.h. Die Abnahmeleistung wird nicht von Absorptionsgaswärmepumpen limitiert sondern geht direkt in den Verteiler, von wo dann die Aufspaltung auf die Heizkreisläufe Gewächshauskomplex und Haus erfolgt.

Vom Bohrloch wird dabei eine Leistung von 178kW in den Verteiler eingetragen. Die restlichen notwendigen 73kW stammen von einer anderen Heizquelle. In diesem Fall kann vorerst der vorhandene Ölbrenner weiterverwendet werden. Grundsätzlich wäre ein höherer Leistungsentzug aus dem Bohrloch durchaus denkbar. Allerdings würde sich dadurch die Wärmetauscherfläche stark vergrößern. So wurde eine den Verhältnissen entsprechend vernünftige Wärmetauscherfläche abgeschätzt und damit die mögliche Leistungsübertragung unter den vorgegebenen Umständen ermittelt.

In beiden Versionen wird vorerst mit dem Ölbrenner gefahren. Dieser bringt seine Leistung immer über einen eigenen Kreislauf in das System ein. Sollte demnach in weiterer Folge der Austausch des Brenners und Einbau einer anderen Energiequelle geplant werden, kann dies ohne Veränderung des Heizschemas erfolgen. Zusätzlich bietet der Ölbrenner derzeit noch einen signifikanten Vorteil. Bei einem Ausfall z.B. der Gaswärmepumpen oder einem Stopp des Leistungsentzuges aus dem Bohrloch kann das Gewächshaus wie vor dem Umbau beheizt werden. Das erspart die Sorge bei anfänglichen Schwierigkeiten des neuen Systems die Kulturen zu zerstören.

Der Vergleich der beiden Varianten zeigt einen klaren Vorteil der zweiten Variante beim Thema Entzugsleistung aus dem Bohrloch. Variante 2 entzieht beim derzeitigen Stand 2,4 Mal so viel Leistung wie die erste Variante 1. Allerdings sollte man bedenken, dass bei der ersten Variante noch Platz für andere Abnehmer bleibt und diese auch gesucht werden sollten. Das Gewächshaus alleine benötigt bei der derzeitigen Schaltung der Gaswärmepumpen allerdings nur 70,4kW.



Verbessern würde sich die Entzugsleistung der Variante 1 bei einer veränderten Kombination der GWP's. Im Schema werden vier parallel geschaltet. Bei Parallelschaltung gilt der Massenstrom als limitierender Faktor. Es könnten die Gasabsorptionswärmepumpen seriell geschaltet werden. In diesem Fall wäre die Regelungstechnik limitierend. Außerdem müsste auch die benötigte Pumpenleistung deutlich höher sein.

Die Gaswärmepumpen können auch nicht seriell geschaltet werden, da für diese Schaltung bisher vom Hersteller noch keine Garantien gegeben werden. Durch Versuchsreihen vom Hersteller und einer darauffolgenden Weiterentwicklung des regelungstechnischen Konzeptes könnte eventuell in Zukunft eine größere Anzahl genutzt und dem Bohrloch dadurch mehr Leistung entzogen werden.

Problematisch für die erste Variante ist die Notwendigkeit von einer tadellos funktionierenden Mess- und Regelungstechnik der Absorptionswärmepumpen. Tritt ein Fehler auf, steht das System bzw. funktioniert es nicht mehr einwandfrei. So muss dann zum Großteil mit dem Ölbrenner beheizt werden. Das zweite Konzept ist mess- und regelungstechnisch viel einfacher, da es deutlich weniger und einfachere technische Elemente besitzt.

Das Temperaturprofil ist bei der ersten Variante besser. Der Geothermiekomplex liefert zwar eine viel größere Leistung, jedoch stehen nur Temperaturen von 42°C zur Verfügung. Variante 1 versorgt den Schichtkessel nach dem Absorptionsgaswärmepumpen (Teil des Geothermie Komplexes) mit einer Temperatur von 60°C. Wird im Gewächshaus temporär eine geringe Leistung mit einer hohen Temperatur benötigt, muss in der zweiten Variante zwangsläufig auf den Ölbrenner zurückgegriffen werden. Bei der ersten Variante entfällt diese Notwendigkeit.

Ein weiterer Vorteil der ersten Variante 1 ist die Anwesenheit der Gaswärmepumpen. Diese könnten im Sommer zur Kälteproduktion genutzt werden. Somit würde sich die Auslastung der Anlage nicht nur auf den Winter beschränken.

Betrachtet man Abbildung 5.1 sieht man den derzeitigen Vorteil der Variante 2. Durch die höhere Fließgeschwindigkeit kommt es zu einem kleineren Wärmeverlust in Oberflächennähe.

Wenn die Gärtnerei der einzige Abnehmer bleibt, ist die zweite Variante aus energetischer Sicht wahrscheinlich geschickter. Findet man allerdings noch weitere Abnehmer in der Umgebung, hat die erste Variante durch die mögliche Kälteerzeugung im Sommer einen signifikanten Vorteil.



7 Zusammenfassung

Durch den von Menschenhand vermuteten Wechsel des Klimas, entstand in den letzten Jahren ein weltweites Umdenken in vielen Bereichen des täglichen Lebens. Transport, Heizung u.a. bedienen sich zwar weiterhin zum Großteil fossiler Brennstoffe, aber es entstand ein Verlangen nach alternativen Energiequellen zu suchen, die weniger Auswirkungen auf die Umwelt haben.

Als eine alternative Energiequelle wird die Erdwärme angesehen. Dabei gibt es verschiedene Möglichkeiten wie diese genutzt werden kann. Rohrleitungen können knapp unter der Erdoberfläche in das Erdreich eingebracht werden um damit Absorptionsgaswärmepumpen zu betreiben, über Energiepfähle kann Wärmeenergie gewonnen werden u.v.m. Diese Verfahren werden der oberflächennahen Geothermie zugeschrieben. Als zweite Kategorie findet man in der Literatur die Tiefe Geothermie. Dazu zählen sämtliche Verfahren, die eine Energiegewinnung in tieferen Schichten der Erde nutzen.

Das in der Diplomarbeit behandelte Verfahren wird als Tiefe Einzelsonde bezeichnet. Dabei wird das Heizmedium von der Erdoberfläche in eine vorgegebene Tiefe gepumpt. Im Fall der behandelten Sonde Hirschstetten sind dies 2.530 Meter. Durch das umgebende Erdreich erfolgt eine Erwärmung der Flüssigkeit. Die Erdtemperatur nimmt pro 100m Tiefe um 3-4°C zu, was in Hirschstetten eine Temperatur der Gesteinsschichten von 85°C ergibt. Nach dem Hinaufpumpen des Heizmediums an die Oberfläche kann es zur Beheizung von Gebäuden genutzt werden. Das Ausmaß der Erwärmung hängt von dabei von verschiedenen Umständen ab. Als Beispiel kann man den Einfluss des Massenstromes erwähnen. Ist dieser zu hoch, verkürzt sich die Kontaktzeit mit den Gesteinsschichten. So kann sich das Heizmedium nicht mehr optimal erwärmen.

Nach erfolgter Einleitung und einem Kapitel über Geothermie allgemein, folgt eine Beschreibung der Pilotanlage in Prottes, Niederösterreich. Dort werden seit März 2009 Versuchsreihen an der 2.200 Meter Tiefen Sonde Prottes PT11 durchgeführt. Diese sollen Aussagen über die Möglichkeiten der Nachnutzung ausgeförderter Erdöl- bzw. Erdgassonden bringen. Simuliert wurde das Bohrloch mittels eines Excel –Tools. Das Heizmedium verlässt das Bohrloch und gelangt in einen mit prozesswichtigen Einbauten. Dort findet der Wärmetausch statt. Längerfristig ist das Beheizen der Sporthalle geplant.

Die Aufgabe an die Diplomarbeit war das Finden neuer nutzbarer Sonden und die Möglichkeit der Einbindung in ein bestehendes Heizsystem. In Hirschstetten, Wien, befindet sich die Sonde Hirschstetten 5. Zwanzig Meter entfernt, wird eine Gärtnerei betrieben. Inwiefern der Bohrlochwärmetauscher in das derzeitige Heizsystem der Sonde eingebaut

werden kann galt es zu untersuchen. Dazu war eine Analyse des derzeitigen Heizsystemes der Gärtnerei nötig.

Die Blumenzuchtanbaufläche hat eine Größe von ungefähr 1500m². Allerdings erfolgt im Winter nur der Anbau in einem 448m² großen Gewächshaus. Die anderen stehen leer. Demnach muss auch nur dieses Glashaus beheizt werden.

Beheizt wird mittels eines 1.000kW Ölbrenners. Der Verbrauch beläuft sich auf 30.000 Liter Heizöl pro Jahr. Mittels dieser Angaben und den Wetterdaten der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik wurde eine Wärmebedarfskurve für den Gärtnereibetrieb erstellt.

Aufbauend auf den Ergebnissen des Probetriebes Prottes wurde nun die Situation simuliert. Zuerst mussten die Bohrlocheinbauten adaptiert werden. Da in Hirschstetten das Casing größer ist als in Prottes waren andere Einbauten möglich bzw. nötig. Es wurden drei Koaxialrohrvarianten angenommen und miteinander durch Simulationen im Excel Sheet verglichen. Zusätzlich spiegelte das als Excel Diagramm dargestellte Ergebnis noch den besten Bereich für die Höhe des Massenstromes.

Nach dem Bohrloch wurde der Pilotcontainer betrachtet. Bei einem Treffen mit Herrn DI Wieseneder von der Firma Sonnek Engineering wurden die Einsparungspotentiale daran diskutiert.

Für die Integration des Bohrlochwärmtauschers entstanden zwei Varianten ausgearbeitet. In der ersten wird die Energie aus dem Bohrloch zum Betrieb von vier Gaswärmepumpen verwendet. Die Gaswärmepumpen versorgen in weiterer Folge einen Schichtkessel, der als Pufferspeicher funktioniert, mit Energie. Von diesem geht die Versorgung des Gewächshauses und des Wohnhauses aus. Wird noch zusätzlich Energie benötigt, muss mit einem Spitzenlastbrenner zugefeuert werden. In Prottes soll die Sportanlage mithilfe von drei Absorptionsgaswärmepumpen beheizt werden. Dadurch wäre die Problematik mit der Verwendung dieser Heiztools bereits erprobt. Sicherlich ein großer Vorteil im Hinblick auf den möglichen Einbau in Hirschstetten zur Beheizung der Gärtnerei.

Die zweite Variante geht nach dem Wärmetausch im Container von einer direkten Nutzung der Leistung des Bohrloches ohne Absorptionsgaswärmepumpen aus. Das Heizmedium gelangt in einen Verteiler und wird von dort in den Gewächshauskomplex und an das Haus weitergeleitet. Es kommt zurück und wird im Container wieder aufgeheizt. Die vom Bohrloch stammende Leistung und auch das Temperaturprofil des Heizmediumstromes sind für eine ausreichende Versorgung der Abnehmer jedoch zu gering. Es muss also zusätzlich Energie aus einem anderen Heizaggregat in den Verteiler eingespeist werden. Vorläufig ist diese Einbringung mit Hilfe des dortigen Ölbrenners geplant.

Beide Varianten haben ihre Berechtigung und Ihre Nachteile. Die Entscheidung welche gewählt wird, hängt eher von den Erfahrungen aus Prottos und von der Möglichkeit andere Abnehmer anbinden zu können ab.

Auszüge zu den Simulationen und Gesprächen finden sich in den Anhängen wieder.

8 Verzeichnisse

8.1 Literatur

- [1] Schulz, R. et al. (1992): Geothermische Energie – Forschung und Anwendung in Deutschland. Karlsruhe: C.F. Müller – Verlag.
- [2] Kaltschmitt, M. et al (1999): Energie aus Erdwärme – Geologie, Technik und Energiewirtschaft. Stuttgart: Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie
- [3] Stracke, M. et al (2003): Studie zur Nutzung der Erdwärme aus ehemaligen Fördersonden zu Rohöl- und Erdgasgewinnung. Studie, OMV Proterra
- [4] Thayer, K. (2008): Geothermische Energie aus alten Bohrlöchern. In: Präsentation, OMV Exploration & Production, Wien 2008
- [5] Reifle, T. (2008): Profitability Analysis and Risk Management of Geothermal Projects. In: GHC Bulletin, 2008, Januar
- [6] Recknagel, et al. (2009): Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik. München: Oldenbourg Industrieverlag GmbH.
- [7] o.V. (2008): Geothermie aus Sonden Scope follow up. In: Präsentation, OMV Austria Exploration & Production GmbH
- [8] Schwister (2007): Taschenbuch der Verfahrenstechnik. 3. Aufl., München: Carl Hanser Verlag. ISBN 978-3-446-41058-9
- [9] Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (2007): Jahrbuch 2007. URL: <http://www.zamg.ac.at/fix/klima/jb2007/index.html> (Zugriff: 19.06.2009)
- [10] Helioplus (2009): Tabelle 2. URL: http://www.helioplus.at/index.php?set_language=de&cccpage=project_systemedetail&set_project_systeme=1 (Zugriff: 09.06.2009)
- [11] Eder (2003): Kapitel 3 Expansionsanlagen in Modulbauweise. In Technisches Handbuch elko-mat eder, November, Seite 33.
- [12] Eder (2006): Kapitel 1 Systemwart bis 1500 Liter. In: Technisches Handbuch elko-mat eder, Juni, Seite 9.
- [13] Draxler, J. (2007): Thermische Verfahrenstechnik. Skriptum, Montanuniversität Leoben

- [14] Kepplinger, W. (2004): Anlagentechnik I & II. Skriptum, Montanuniversität Leoben
- [15] Eder (2006): Kapitel 1 Systemwart bis 1500 Liter. In: Technisches Handbuch elko-mat eder, Juni, Seite 9.
- [16] Robur (2008): PRO Wasser führendes Heiz- und Kühlsystem mit Wärmepumpen, Absorptionskühlern und Absorptions-Kalt-/Warmwassererzeugern. E-Mail Verkehr.
- [17] Frühling, Paul (2007): Kritische Erfolgsfaktoren für den Bezug geothermer Energie aus Tiefenwässern. Diplomarbeit, Montanuniversität Leoben.
- [18] Kaltschmitt et al. (2007): Renewable Energy – Technology, Economics and Environment. Heidelberg: Springer – Verlag. ISBN 978 – 3 – 540 – 70947 – 3
- [19] DiPippo Ronald (2008): Geothermal Power Plants, Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact. Burlington: Elsevier Ltd. ISBN: 978 – 0 – 7506 – 8620 – 4
- [20] Corripio, Armando B. (1998): Design and Application of process control systems. ISBN – 1 – 55617 – 639 – 2
- [21] Rössler, Manuel (2009): Interpretation und Evaluierung der gemessenen Wärmeflussmengen eines Bohrlochwärmetauschers. Bachelorarbeit, FH Wels
- [22] Rybach, L. et al (1995): Shallow and deep borehole heat exchangers – achievements and prospects. In. Proc. World Geothermal Congress 95, Florence (I), Vol. 3, 2133-2139.
- [23] Rybach, L. (1992): Borehole heat exchangers: Long-term operational characteristics of a decentral geothermal heating system. Geothermics 22, 861-869.
- [24] Kohl, T. (2002): System performance of a deep borehole heat exchanger. Geothermics, Vol. 31. no6, pp. 687 – 708 [22 page(s) (article)] (16 ref.)
- [25] Antragsformular Teil A – Geothermie aus alten Sonden. Neue Energien 2020. 2. Ausschreibung OMV
- [26] OMV (2007): Geschäftsbericht, Neue Wege in Mittel- und Osteuropa.
- [26] Kaltschmitt et al. (1995): Erneuerbare Energien – Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. Berlin: Springer – Verlag.

Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
a	Jahr
P	Leistung
m	Massenstrom bzw. Massenfluss [kg/s]
c_p	Wärmekapazität [J/kgK]
ΔT	Temperaturdifferenz [K]
da_2	Aussendurchmesser Casing [m]
sa_{12}	Wandstärke Casing [m]
sa_{23}	Dicke Zementation [m]
da_4	Durchmesser kompletter Betrachtungsraum [m]
di_3	Außendurchmesser eingebaute Koaxialrohre [m]
si_{23}	Wandstärke Tubings [m]
si_{12}	Dicke Isolationsschicht [m]
Nodes (z-dir)	Knoten über die Länge
Nodes (r-dir)	Knoten in Radialrichtung
λ	Wärmedurchgangskoeffizient äußerer bzw. innerer Stahl [W/(m°C)]
l_a	Länge einer Rohreinheit [m]
ka_{34}	Wärmedurchgangskoeffizient Gesteinsformation [W/(m ² K)]
T_{earth}	Erdtemperatur [°C]
ρ	Dichte Geisteinsformation [kg/m ³]
a	Kinematische Viskosität Gesteinsformation [m ² /s]
$ka_{23}(\text{Cement})$	Wärmedurchgangskoeffizient Zement [W/(m ² K)]
$ki_{12}(\text{Coating})$	Wärmedurchgangskoeffizient Isolierung [W/(m ² K)]
T_{inlet}	Eingangstemperatur [°C]
T_{amb}	Umgebungstemperatur [°C]
Q	Zu erwartende Leistung [MW]- Bezeichnung im Excel sheet
T_{wai}	Temperatur Außentube innen [°C]

T_{wao}	Temperatur Außentube außen [°C]
T_{wio}	Temperatur Innentube außen [°C]
T_{wii}	Temperatur Innentube innen [°C]
Time	Laufzeit der Anlage nach dem Hochfahren in Stunden
T_{emp}	T_{wii} nach einer gewissen Laufzeit [°C]
GWP	Gaswärmepumpe
p_A	Partialdruck der Komponente A [Pa]
H_A	Henrysche Konstante
x_A	Stoffmengenanteil der gelösten Komponente A in dem flüssigen Absorptionsmittel
y_A	Stoffmengenanteil der Komponente A in der gasförmigen Phase
p	Gesamtdruck
ζ_W	Wärmeverhältnis Wärmepumpe
Q_C	Vom Verflüssiger abgegebene Wärmemenge
Q_A	Vom Absorber abgegebene Wärmemenge
Q_H	Über Gas eingetragene Wärme in die GWP
$d_{StrangVL}$	Durchmesser Strang Vorlauf
$V_{StrangVL}$	Volumen Strang Vorlauf
L	Länge Strang Gewächshaus
W	Jahresenergiebedarf an Heizöl [kWh/Jahr]
H	Jahresverbrauch an Erdöl [Liter/Jahr]
I	Heizwert des Erdöls [kWh/Jahr]
$t_{Brenner}$	Laufzeit des Ölbrenners [Stunden]
$P_{StromGWP}$	Leistung die an den Gaswärmepumpenstrom abgegeben wird
t_1'	Heizmittelsrom war
t_1''	Heizmittelstrom abgekühlt
t_2'	GWP Heizmittelstrom kalt

t_2''	GWP Heizmittelstrom erwärmt
k	Koeffizient für Wärmeübertragung [W/m ² K]
A	Austauschfläche [m ²]
Δt_m	Temperaturdifferenz zw. Ein- und Ausgang
V _{AD}	Ausdehnungsvolumen [l]
W _{AN}	Wasserinhalt der Anlage [l]
f _{AD}	Temperaturabhängiger Ausdehnungsfaktor [l/l]

Tabellen

Tabelle 2.1: In Betrieb stehende OMV Fördersonden im Raum Wiener Becken.....	10
Tabelle 2.2: Investitionskosten für ein geothermisches Kraftwerk	12
Tabelle 3.1: Messprinzipien Druck, Temperatur und Durchfluss	19
Tabelle 4.1: ZAMG, Jahrbuch 2007.....	41
Tabelle 5.2: Parameter Simulation 1	50
Tabelle 5.3: Parameter Simulation 2	51
Tabelle 5.4: Parameter Simulation 3	51
Tabelle 5.5: Ergebnisse Simulation 1	52
Tabelle 5.6: Ergebnisse Simulation 2	52
Tabelle 5.7: Ergebnisse Simulation 3	52
Tabelle 5.8: Ergebnis Druckverlust Simulation 1.....	53
Tabelle 5.9: Ergebnis Druckverlust Simulation 2.....	53
Tabelle 5.10: Ergebnis Druckverlust Simulation 3.....	53
Tabelle 5.11: Wärmetauscher (Betriebsbedingungen).....	59
Tabelle 5.12: temperaturabhängige Ausdehnungsfaktoren	61
Tabelle 5.13: Leistung in Abhängigkeit mit Kaltwassereintritt und Warmwasservorlauftemperatur	65
Tabelle 5.14: Gasabsorptionspumpe Betriebsbedingungen	66
Tabelle 5.15: Technische Daten GAHP Serie WS	66
Tabelle 5.16: Parameter Schichtkessel	67
Tabelle 5.17: Parameter Gewächshauskomplex.....	68
Tabelle 5.18: Parameter Heizung	69
Tabelle 5.19: Parameter Bohrloch	72
Tabelle 5.20: Parameter Wärmetauscher Variante 2	72

Tabelle 5.21: Parameter Ölbrenner	74
Tabelle 5.22: Parameter Verteiler.....	75
Tabelle 5.23: Parameter Gewächshaus	75
Tabelle 5.24: Parameter Haus.....	76
Tabelle 25: Eingabe.....	108

ABBILDUNGEN

Abbildung 1.1: Einflussgebiete OMV	5
Abbildung 1.2: Produktion 2006	6
Abbildung 2.1: Grundprinzip	9
Abbildung 2.2: Koaxialsonde	9
Abbildung 2.3: Anzahl der Fördersonden zu ihrer Tiefe.....	11
Abbildung 2.4: State, Possible Future Developments in and Barriers to the Exploration and Exploitation of Geothermal Energy in Austria	11
Abbildung 2.5: Vergleich zwischen BHE und Alternativen	13
Abbildung 2.6: Wirtschaftlichkeit (discount time = 20 years, interests 6%).....	13
Abbildung 3.1: Lage der Sonde PT11	16
Abbildung 3.2: Prozessschema PT11	16
Abbildung 3.3: Sonde	17
Abbildung 3.4: Sonde - Container	17
Abbildung 3.5: Container (innen).....	17
Abbildung 3.6: R& I Schema Container.....	18
Abbildung 3.7: Vorlauftemperatur über Rücklauftemperatur.....	23
Abbildung 3.8: Thermische Leistung über Rücklauftemperatur	23
Abbildung 3.9: Vorlauftemperatur über Durchfluss	23
Abbildung 3.10: Thermische Leistung über Durchfluss.....	23
Abbildung 3.11: Wärmeleistungsverlauf 4.06-18.06.....	25
Abbildung 3.12: Verfahrensfließbild Sommerbetrieb.....	28
Abbildung 3.13: Verfahrensfließbild Winterbetrieb	29
Abbildung 3.14: Energieflussdiagramm Winterbetrieb	30
Abbildung 3.15: Energiediagramm Sommerbetrieb	30
Abbildung 3.16: Fließbild einer Absorptionskältemaschine.....	32

Abbildung 3.17: Schema einer Absorptionskältemaschine	32
Abbildung 3.18: Absorptions-Wärmepumpen:.....	33
Abbildung 3.19: Etwa erreichbares reales.....	33
Abbildung 4.1: Entfernungen Sonde - Gewächshaus bzw. Ölbrenner.....	35
Abbildung 4.2: Konzept der Gesamtanlage.....	35
Abbildung 4.3: Gewächshaus	36
Abbildung 4.4: Untertischheizung	36
Abbildung 4.5: Aufbau des Gewächshauses Auf- und Grundriss	36
Abbildung 4.6: Heizungsschema Gärtnerei Evelyne Bach.....	38
Abbildung 4.7: 3 Weg Mischer.....	38
Abbildung 4.8: 3 - Weg Mischer: Stellung 1	38
Abbildung 4.9: 3 - Weg Mischer: Stellung 2	38
Abbildung 4.10: Wärmebedarfskurve 2007	43
Abbildung 4.11: Wärmebedarfskurve 2006	43
Abbildung 4.12: Wärmebedarfskurve 2005	43
Abbildung 4.13: Wärmebedarfskurve 2004	43
Abbildung 5.1: Bohrloch Hirschstetten 5	44
Abbildung 5.2: Anlagenkonzept Hirschstetten.....	48
Abbildung 5.3: Energieflussdiagramm Technische Integration	49
Abbildung 5.4: Leistung, Temperatur, Druck in Abhängigkeit des Massenstromes.....	55
Abbildung 5.5: Prinzipskizze Wärmetauscher	59
Abbildung 5.6: Temperaturgefälle bei Gegenstromschaltung	59
Abbildung 5.7: Prinzipskizze Anlagenkonzept.....	70
Abbildung 5.8: Energieflussdiagramm Variante 2	71

Anhang 1
Technische Daten Sonde Hirschstetten 5

OMV Austria
Exploration & Production GmbH
Asset ÖL/PE

Gänserndorf, 16.02.2006
Matzka

BETRIEBSPLAN

SONDE: **Hirschstetten 5**

Verfüllung und Verdichtung

SONDENART: **Gassonde**

0. DATEN für BEHANDLUNGSSTATISTIK

Plan Nr.:		027/2006
Feld: Hirschstetten		A047
Gewinnungsfeld:		Hirschstetten
Horizont:	Untertorton	245
Produktionseinheit:		10

Blatt 93

Verfüllung und Verdichtung

Pl. 027/2006

Hirsch. 5

Sonde:

Hirschstetten

000005

Klassifikation v. Behandlg.:

11.360.000

Blatt 94

Verfüllung und Verdichtung

Pl. 027/2006

Hirsch. 5

1. TECHNISCHE DATEN

Koordinaten (im Gauß-Krüger-System M 34 Grad):

X = 5,343.780,5 m, Y = 510.558,7 m

Seehöhe:	158,70m
Bohrbeginn:	05.02.1976
Bohrende:	21.05.1976
Endteufe:	4007,0 m
Gesamtabweichung:	in 2055m 97,80m
Azimut:	in 2055m 316°
Verkürzung:	in 2055m 14,09m
Zementsohle:	2244 m

Offene Perforationen:

2062m – 2068m (AN 1903,3m – 1909,3m), Horizont: 245/10 (Untertorton)

Alte Perf. Strecken, (bzw. Casinglecks):

2385 – 2393 m	Horiz.:	Karpat	offen	1976 05 28
2363 – 2370 m		Karpat	offen	1976 05 28
2275 – 2285 m		Badener Serie	offen	1976 05 30
2268,5-2269,5 m		Techn.Perf.	abzem.-	1976 06 05
2257 – 2259 m		Badener Serie	abzem.-	1976 06 05
2253 – 2255 m		Badener Serie	abzem.-	1976 06 05

Verrohrungsdaten:

"	m	zementiert bis	
18 5/8	16,50	- „ -	zutage
13 3/8	251,00	- „ -	zutage
9 5/8	2530,50	- „ -	ZOK, therm.: 934 m

Das Standrohr bis 16,50m sowie die Konduktorrohrtour bis 251m wurden bis zu Tage verzementiert. Damit ist eine Isolierung im Bereich möglicher Grundwasserhorizonte gegeben.

"	Verb.	Gew. lbs/ft	Gütegr.	Wd.mm	ID mm	KD mm	bis Teufe m
---	-------	-------------	---------	-------	-------	-------	-------------

Blatt 95

Verfüllung und Verdichtung

Pl. 027/2006

Hirsch. 5

Daten des Standrohres

18 5/8 API	54,5		9,65		61,50
	48,0		8,38		

Daten der Konduktorkolonne

13 3/8 API	54,5	J 55	9,65	320,42	251,00
------------	------	------	------	--------	--------

Daten der Förderkolonne (Absetzgewicht: 77 to)

9 5/8 API	40,0	K 55	10,03	224,41	220,44	446,53 LM
9 5/8 API	40,0	K 55	10,03	224,41	220,44	1212,59 KM
9 5/8 API	40,0	K 55	10,03	224,41	220,44	2530,50 LM

Stopplatte bei 2504,2 m

Rohrkopf: 13 3/8" – 12" x 3000, Absetzflansch: 12" x 3000 – 10" x 5000

Geologisches Profil	0	-	909 m	Unterpannon	3010 m	Jura
		-	1344 m	Sarmat	3022 m	Trias
		-	2359 m	Badener Serie	3040 m	Jura
		-	2890 m	Karpat	4007 m	Kreide
		-	2982 m	Kreide		

Gashorizonte:	967,9	-	968,9 m	Sarmat
	2062,3	-	2070,0 m	Torton
	2070,0	-	2073,4 m	

Bohrloch-Durchmesser:	0	-	254 m	17 1/2"
		-	2531 m	12 1/4"
		-	4007 m	8 1/2"

Blatt 96

Verfüllung und Verdichtung

Pl. 027/2006

Hirsch. 5

Einbauten: DS unverriegelt + 1 Si. 2 7/8" ELS + OTIS LN + 1 Si 2 7/8" ELS + OTIS
 SSD
 + 214 Si 2 7/8" ELS. Abgesetzt mit HBA + RFC (2 7/8")

Wichtige Hinweise: Letzter Scapermarsch am 1976 06 07 bis 2048 m
 Bridge-Plug bei 2440 m, 2320 m, 2270 m
 Halb. Prod.Packer EZ-SV bei 2048 m
 Achtung 2,3" X – Mandrel + BD bei 2047m = Tubingende

2. FÖRDERTECHNISCHE DATEN

Letzte Monatsproduktion: m³ Wasser m³ Br. t Öl m³ Erdölbegleitgas m³ Erdgas

Februar 2000	0	0	0	0	225.300
--------------	---	---	---	---	---------

Kumulative Produktion:

<u>Hor./PE:</u>	<u>m³ Wasser</u>	<u>m³ Br.</u>	<u>t Öl</u>	<u>m³ Erdölbegleitgas</u>	<u>m³ Erdgas</u>
Untertorton	0	0	0	0	185.804.300

Summe	0	0	0	0	185.804.300

3. SONDENGESCHICHTE

Die Aufschlußbohrung hatte zur Aufgabe, Dolomitmörper des Lunzer Schuppensystems, die im Bereich der Bohrungen Breitenlee 9, 3 und 5 festgestellt worden sind, in tektonisch höherer Position auf ihre KW-Führung zu untersuchen

Erstperforation:

- 1976 05 26 Bohrlochessung, danach Verschluss des offenen Bohrloches durch Zementbrücken von 3100-2850 m, 2580-2480 m.
- 1976 05 28 RM eingebaut bis 2581m und reinzirkuliert solange bis nicht erhärteter Zement zutage kam. Bridge Plug bei 2440m abgeschossen. Perf. 2363-2370 m, 2385-2393 m. = Karpat.
- 1976 05 29 Zufluss von 3,1 m³ Wasser nicht eruptiv. Casingtest.
- 1976 05 30 Bridge - Plug 2320 m abgesetzt = Zementsohle. Perf.2275-2285 m der Badener Serie Produktion: Zufluss von 51 m³ Wasser u. Gas. Karpathorizont mit Bridge - Plug abgeplagt
- 1976 06 01 Bridge Plug bei 2270m gesetzt
- 1976 06 03 Badener Serie, Perf.2253-2255 m, 2257-2259 m. Zufluss von 32 m³ Wasser u. Gas.
- 1976 06 04 Techn.Perf.2268,5-2269,5 m. Rezementation der 9 5/8" Kolonne zwischen den Perforationen 2268,5-2269,5 m u.2253-2259 m. Zementsohle = 2244m
- 1976 06 07 Perforation des 245-10 Untertorton: 2062-2068 m. Laut Arbeitsplan vom 1976 06 11 perforiert und Casingtest - Zufluss von reinem Gas.
- 1976 06 11 Produktionspacker bei 2048 m abgeschossen und Sonde installiert. RR mit 6m³ Wasser + 3m³ Mudflush + 5m³ Wasser + 80m³ wasser mit 0,1% Duomeen + 6m³ HOWCO – Sud Inhibiert. Und RR mit 50bar abgedrückt. Gasförderung bis 2000, danach wurde die Sonde zur Druckbeobachtung verwendet.

Wire-Line Arbeiten:

- 2005 01 12 Mit Wire - Line RM 47mm bis 2034,5m = BD
2,313" X - Mandrel + BD bei 2034,5m entriegelt und bei 2047m (Tubingende) abgeschert. Mit RM 59,6mm Engstellen von 73m – 76m und 1626m – 1695m
Mit RM 59mm bis 2034,5m gefahren = LN

Blatt 98

Verfüllung und Verdichtung

Pl. 027/2006

Hirsch. 5

2005 03 16

Achtung 2,3" X – Mandrel + BD bei 2047m = Tubingende

Blatt 99

Verfüllung und Verdichtung

Pl. 027/2006

Hirsch. 5

Letzte Behandlung:**Wire-Line Arbeiten:**

- 16.03.2005
1. Spiegel getastet bei 212m
 2. Bleiabdruck 57mm bis 410 m -Gummi ?
 3. Mit Bürste bis 2044m - keine Scherenfunktion
 4. Mit Bleiabdruck 44mm bis 2044m - Kein Abdruck - Gummi?
- Achtung 2,3" X - Mandrel + BD bei 2047 m = TE

URSACHEN UND BEGRÜNDUNG

Die Sonde Hir. 5 produzierte seit 1979 aus dem Untertorton (245-10) und verwässerte im Jahr 2000. Seither wurde die Sonde zur Druckbeobachtung verwendet.

Der höchste KW-Führende Horizont befindet sich auf ungefähr 975 m. Die Mächtigkeit dieses Sandes ist leider nicht gut genug um eine Perforation zu begründen. Außerdem ist es nicht klar ob es hier ausreichende KW (gas?) gibt. Dieser Horizont (Sa) wird nicht perforiert. Da es kein weiteres wirtschaftliches KW Potenzial gibt, wird die Sonde nicht weiter benötigt und soll liquidiert werden. Die Produktion aus dem Untertorton (245-10) wird von der Hir. 7a übernommen.

Bei der Sonde Hirsch. 5 wurden insgesamt 3 Behandlungen durchgeführt.

Betriebszeiten der Sonde Hirsch. 5:	Juni 1979	-	Juni 1980
	Okt. 1980	-	Mai 1981
	Nov. 1981	-	Juli 1982
	Okt. 1982	-	Nov. 1982
	Juli 1983	-	Juli 1984
	Sept. 1985	-	Juli 1988
	Feb. 1989	-	Juni 1989

Blatt 100

Verfüllung und Verdichtung

Pl. 027/2006

Hirsch. 5

Sept. 1989	-	Aug. 1990
Okt. 1990	-	Aug. 1992
Okt. 1992	-	Mai 1993
Sept. 1993	-	Juni 1994
Aug. 1994	-	Aug. 1995
Nov. 1995	-	Sept. 1997
Jän. 1998	-	Juli 1999
Sept. 1999	-	Feb. 2000

Maßnahme: *Verfüllung und Verdichtung*

Blatt 101

Verfüllung und Verdichtung

Pl. 027/2006

Hirsch. 5

4. VORGESCHLAGENER BEHANDLUNGSPLAN

Drücke bei Planerstellung:

Tubing	0 bar
Casing 9 5/8"	0 bar
Konduktor (RR 13 3/8" x 9 5/8")	0 bar

1. Drücke und Gasmessungen auf allen Ringräumen durchführen und dokumentieren.
2. Sonde mit Flutwasser totpumpen. (Eventuell Verlustpille setzen).
3. EK demontieren Preventer montieren (Annuram).
4. DS freiziehen und Inhibitorflüssigkeit mit Flutwasser auszirkulieren und 2 7/8" ELS mit DS ausbauen.
5. 3 Si. 1,9" NU Strg. + Scraper einbauen bis 2075. Aufnahmetest durchführen.
6. Zementretainer mit DT einbauen bei 2040m absetzen
7. Vorsäuerung mit 5m³ 15%iger HCL + 0,3% Cronox + 0,6% Sapogenat.
8. DZ des Untertorton (245 - 10) Perf.: = 2062 – 2068 m mit FZ. Zement OK.: = 2000 m.
9. Zementbrücken setzen von 1600 – 1500 m von 1050 – 850 m und von 400 – 300 m. Die Bereiche zwischen den Zementbrücken sind mit Dickspülung aufzufüllen.
10. Technische Perforation bei 255 m.
11. LSP einbauen bei 240 m absetzen, Zirkulationsversuch über technische Perforation mit RR 9 5/8" x 13 3/8".durchwaschen mit 5m³ 15%iger HCL + 0,3% Cronox + 0,6% Sapogenat LSP ausbauen.
12. Retainer mit DT einbauen bei 245 m absetzen. Druck- und Brückenzementation bis Zement am RR zutage kommt. ZOK im 9 5/8" Casing bei 3,30 m. DT ausbauen.
13. Im Anschluss der Verfüllarbeiten wird das E-Kreuz aufgesetzt. Danach werden am Bohrloch über einen Zeitraum von einem Monat, von den jeweiligen Assets, Druck und Gasmessungen durchgeführt (mind. 2 x). Die Messergebnisse sind weiterzuleiten an Asset ÖL/PE und an die Behördenabteilung

Im Zuge der Obertage-Liquidation sind Gasmessungen durchzuführen. Sollten Gasanzeigen festgestellt werden, wird Asset ÖL/PE verständigt. Sämtliche Rohre sind 3,30 m unter Ackersohle abzuschneiden und mit einer Stahlplatte zu verschweißen, darüber wird eine Betonplatte 1,0 x 1,0 x 0,3 m gesetzt.

Blatt 102

Verfüllung und Verdichtung

Pl. 027/2006

Hirsch. 5

Behandlungsdauer:	120 Stunden
Lagerstättenverh. PL (PM):	Untertorton.....212 bar
Behandlungsflüssigkeit:	Flutwasser, Spülung

Bei Rückfragen: Bigler, Matzka, Veit - PE

.....
Asset ÖL/PE
Verfasser

.....
Asset ÖL/PE

.....
SOB/BT

.....
AUT-AG
Freigegeben

KOLONNE	CASING	SCHIEBEMUFFE_1	SCHIEBEMUFFE_2	TEUFE_OK	TEUFE_UK
101	18 5/8			0	16,5
201	13 3/8			0	251
901	9 5/8			0	446,53
902	9 5/8			446,53	1212,59
903	9 5/8			1212,59	2530,5

TEUFE_GEB_BIS	NENNGEWICHT	MASSEINHEIT_BEZ	DM_MEISSEL	DM_INNEN
254	54,5	lb/ft	445	320,4
	40	lb/ft		224,4
	40	lb/ft		224,4
2531	40	lb/ft	311	224,4

DM_DORN	GUETEGRAD	WANDSTAERKE	VERBINDER	ZOK_THERMISCH_1
				0
	J-55	9,65	API	0
220,44	K-55	10,03	API-L	
220,44	K-55	10,03	API-K	934
220,44	K-55	10,03	API-L	

ZOK_PLAN_1	ZOK_PLAN_3	ANMERKUNG	FK#WID	MASSEINHEIT
0			12137	
0			12137	L
			12137	L
1300			12137	L
			12137	L



Anhang 2
Notiz zum Gespräch mit Herrn DI Wieseneder
Und Herrn Ebner vom 13.Juli 2009



Dienstag, 14. Juli 2009

**Notiz zum Gespräch mit Herrn DI Wieseneder
und Herrn Ebner vom 13. Juli 2009**

Pumpe:

- Ausgelegt auf einen Massenstrom von $\sim 10\text{m}^3/\text{h}$
- Regelung über Ventil
- Mittels Programm Rohrleitungskennlinie (geht durch den 0 – Punkt, da geschlossenes System) erhalten
- Für 2500m tiefes Bohrloch kann delta P linear vergrößert werden.

Eder Expansionsanlage:

- Größe ermittelt nach: Fa. Eder; Expansionsanlage in Modulbauweise, In: Technisches Handbuch elko mat. Seite 33
- überdimensioniert → im Hinblick auf Verwendung des Containers bei Versuchsprojekten an tieferen Sonden

Mögliches Einsparungspotential:**• Expansionsanlage**

2x 500Liter; nur Ausdehnungsbehälter (vgl. Hausheizung $\sim 24\text{Liter}$) → keine Pumpe zum Druckausgleich

• Regelventil

Durch das Regelventil kommt es zu einer Vernichtung von Energie. Eine Regelung nur über die Pumpe wäre sinnvoller:

• Explosionsschutz

- generelle Sinnhaftigkeit fraglich
- Möglichkeit des Aufbaus des Schaltschranks (Derzeitiger Schaltschrank ist gasdicht und hält eine Explosion aus. → daher: teuer) in einem separaten Raum → dadurch Kosteneinsparungspotential beim Schaltschrank
-

• Druck-, Temperatur- und Massenstrommessung

- Temperaturmessung vor und nach Wärmetausch in den Kreisläufen wegen Differenzmessung (Leistungsbestimmung) nötig
- Massenstrom; würde eine Messung pro Kreislauf genügen
- Druckmessung vor und nach (für Betriebspunkt) der Pumpe wichtig
- Sicherheitsventile; wichtig: Eines nach dem Wärmetauscher
Es wäre denkbar einige Sicherheitsventile zu entfernen. Einige wurden zur Isolation einzelner Bauteile eingebaut.



- **Umgehung des Wärmetauschers**
Kann entfernt werden; allerdings kein wesentlicher Kostentreiber
 - **Werkstoff**
Edelstahl ist nicht unbedingt notwendig
- **Schätzung: Container könnte auf die halbe Größe minimiert werden.**



Anhang 3
Hirschstetten – Berechnung des
Druckverlustes der verschiedenen Einbauten



Als Grundlage für die Berechnung des Druckverlustes kann das Kapitel 1.4.9. Druckverlust im Buch Recknagel et al (2009): Heizung + Klimatechnik, Seite 284, gesehen werden.

Bei der Druckverlustberechnung über das Bohrloch werden eventuelle Umlenkverluste ignoriert. Folglich verkürzt sich die Formel zu:

$$\Delta p = \lambda * \frac{l}{d} * \frac{\rho}{2} * v^2$$

- Δp Druckverlust [Pa]
 λ Reibungszahl
 l Länge der Leitung [m]
 d Durchmesser der Leitung [m]
 ρ Dichte des Mediums [kg/m³]
 v Fördergeschwindigkeit Heizmedium [m/s]

Die Eingabewerte sind in Tabelle 24 in Gelb ersichtlich. Weitere Parameter, wie die Geschwindigkeit, können abgeleitet werden. Als Rohrlänge nimmt man die Bohrlochtiefe, die Dichte des Mediums wird mit 1012 kg/m³ angenommen.

Tabelle 24: Eingabe

Rohrlänge l:	2530	m
Massenstrom m:	7	kg/s
Durchmesser Casing:	0,2445	m
Durchmesser tube außen:	0,1778	m
Durchmesser tube innen:	0,09	m
Dichte:	1012	kg/m ³
Rauhigkeit ϵ :	0,00015	m
Ainnen:	0,0063585	m ²
Aaußen:	0,022111417	m ²
Aisolierung:	0,018457579	m ²
v(innen):	1,08783456	
v(außen):	0,312824641	

Die Parameter Fördergeschwindigkeit Heizmedium v , Durchmesser der Leitung d und die Reibungszahl λ müssen pro Simulation doppelt betrachtet werden.

In der ersten Betrachtung wird der Druckverlust im Innentube analysiert. Der Durchmesser beträgt in diesem Fall 9 Zentimeter und die Geschwindigkeit wird über den Massenstrom (hier: 7 kg/s) und die Querschnittsfläche wie folgt berechnet:

$$A_{innen} = \frac{d_i^2 * \pi}{4} = \frac{0,09^2 * \pi}{4} = 0,00636m^2$$



$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{7 \text{ kg/s}}{1012 \text{ kg/m}^3} = 0,00691 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v_{\text{innen}} = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{0,00691 \text{ m}^3/\text{s}}{0,00636 \text{ m}^2} = 1,088 \text{ m/s}$$

Die Reibungszahl λ wird im Colebrook – Diagramm abgelesen. Dafür benötigt man zwei Parameter. Durch Multiplikation von v_{innen} mit d_{innen} erhält man einen Parameter. Durch Division der Rohrrauigkeit ϵ mit dem Durchmesser d_{innen} wird ein zweiter ermittelt.

$$v_{\text{innen}} * d_{\text{innen}} = 1,088 \text{ m/s} * 0,09 \text{ m} = 0,0979 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\frac{\epsilon}{d_{\text{innen}}} = \frac{0,00015 \text{ m}}{0,09 \text{ m}} = 0,001667$$

Mittels dieser beiden erhält man eine Reibungszahl λ von:

$$\lambda = 0,027$$

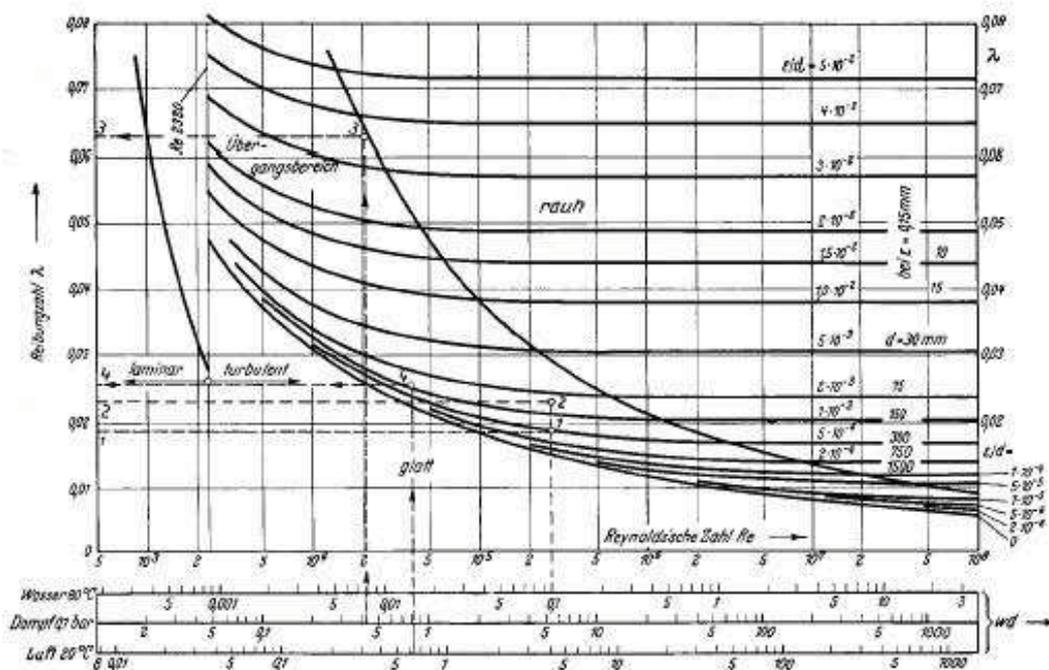


Abbildung: Colebrook Diagramm¹

Somit sind alle Parameter der Formel bekannt und der Druckverlust kann berechnet werden.

$$\Delta p_{\text{innen}} = 0,027 * \frac{2530 \text{ m}}{0,09 \text{ m}} * \frac{1012 \text{ kg/m}^3}{2} * 1,088^2 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 454.622 \text{ Pa} = 4,55 \text{ bar}$$

¹ Recknagel et al (2009). S. 280



Der Druckverlust über den Ringspalt wird ähnlich berechnet. Die Rohrlänge l und die Mediendichte ρ bleiben unverändert. Die Fließgeschwindigkeit v kann erneut über die Kontinuitätsgleichung ermittelt werden. Man erhält einen Wert von 0,31 m/s. Der hydraulische Radius kann laut Berechnungsbeispiel auf der Homepage¹ des Institutes für Mechanik der Montanuniversität Leoben als Differenz zwischen Außenradius und Innenradius angenommen werden. Folglich ergibt sich der hydraulische Durchmesser zu:

$$d_H = 2 * r_H = 2 * \frac{0,2445m - 0,1778m}{2} = 0,0667m$$

Die Reibungszahl λ wird nun nach Ermittlung der beiden Parameter aus dem Colebrook Diagramm abgelesen und beträgt 0,028. Somit ergibt sich der Druckverlust am Außenring zu:

$$\Delta p_{\text{außen}} = 0,028 * \frac{2530m}{0,0667m} * \frac{1012 \frac{kg}{m^3}}{2} * 0,31^2 \frac{m^2}{s^2} = 51.644 Pa = 0,52 bar$$

Der Gesamtdruckverlust über das Bohrloch ist folglich die Summe der beiden Drücke:

$$\Delta p_{\text{Gesamt}} = \Delta p_{\text{innen}} + \Delta p_{\text{außen}} = 4,55 bar + 0,52 bar = 5,07 bar$$

Bei genauerer Betrachtung der Druckverluste ist erkennbar, dass für den Großteil die Innentube verantwortlich ist. Der Druckverlust am Außentube spielt eine untergeordnete Rolle, was durch die geringere Fließgeschwindigkeit bedingt sein könnte.

Folgend werden noch die Ergebnisse tabelliert:

Tabelle: Ergebnis Druckverlust Simulation 1

Massenstrom [kg/s]	10* Druckverlust [bar]	Druckverlust [bar]
1	0,94	0,094
2	3,78	0,378
3	8,51	0,851
4	15,12	1,512
5	23,63	2,363
6	34	3,4
7	46,31	4,631
8	60,49	6,049

Tabelle: Ergebnis Druckverlust Simulation 2

Massenstrom [kg/s]	10*Druckverlust [bar]	Druckverlust [bar]
1	1,04	0,104
2	4,18	0,418

¹ <http://institute.unileoben.ac.at/mechanik/news/rohrstroemung.pdf> (Zugriff: 16.07.2009)



3	9,4	0,94
4	16,72	1,672
5	26,12	2,612
6	37,62	3,762
7	51,2	5,07
8	66,87	6,687

Tabelle: Ergebnis Druckverlust Simulation 3

Massenstrom [kg/s]	10*Druckverlust [bar]	Druckverlust [bar]
1	2,16	0,216
2	8,64	0,864
3	19,44	1,944
4	34,56	3,456
5	54	5,4
6	77,76	7,776
7	105,84	10,584
8	138,24	13,824



Anhang 4
Simulation Sonde Hirschstetten 5
Beheizung Gärtnerei, Variante 1



Outer Tube	(in m)		Material		λ (W/m/°C)		Inlet condition	°C
da2	0,2445		Steel	Outer	45		Tinlet	39,00
sa12	0,00919			Inner	45		Tearth	
sa23	0,0334		Cement				Tamb	10,00
da4	100		Coating					
			Water	Density	1012	kg/m ³		
Inner tube	(in m)			Specific Heat	3930	J/kg/K		
di3	0,1778							
si23	0,01128	total thickness of both tubes						
si12	0,0439	Thickness of gas layer						
							gf	1,04
Nodes(z-dir)	400						modolo	1
Nodes(r-dir)	20							
Q	0,074	MW						
Mass Flow	1,000	kg/s						
Exergy	0,011	MW						
U	0,06	m/s						

delr0	1,641	m						
delz	6,325	m						
time (sec)	100000000	31500000					1157,407	
delt (sec)	200000	10000	400000				2,315	56
Time-steps	158						366	
up-timesteps	450							
down-timesteps	3							



Node	la(m)	ka34 (earth)	Tearth	Cp (J /kg °C)	P (kg/m3)	a(m2/s)	ka23 (Cement)	ki12 (Coating)
1	6,325	1,75	10,00	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
2	6,325	1,75	10,19	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
3	6,325	1,75	10,38	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
4	6,325	1,75	10,57	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
5	6,325	1,75	10,76	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
6	6,325	1,75	10,95	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
7	6,325	1,75	11,14	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
8	6,325	1,75	11,33	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
9	6,325	1,75	11,52	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
10	6,325	1,75	11,71	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
11	6,325	1,75	11,90	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
12	6,325	1,75	12,09	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
13	6,325	1,75	12,28	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
14	6,325	1,75	12,47	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
15	6,325	1,75	12,66	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
16	6,325	1,75	12,85	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
17	6,325	1,75	13,04	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
18	6,325	1,75	13,23	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
19	6,325	1,75	13,42	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
20	6,325	1,75	13,61	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
21	6,325	1,75	13,80	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
22	6,325	1,75	13,99	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
23	6,325	1,75	14,18	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
24	6,325	1,75	14,38	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
25	6,325	1,75	14,57	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
26	6,325	1,75	14,76	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
27	6,325	1,75	14,95	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
28	6,325	1,75	15,14	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
29	6,325	1,75	15,33	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
30	6,325	1,75	15,52	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
31	6,325	1,75	15,71	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
32	6,325	1,75	15,90	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
33	6,325	1,75	16,09	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
34	6,325	1,75	16,28	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
35	6,325	1,75	16,47	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
36	6,325	1,75	16,66	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
37	6,325	1,75	16,85	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
38	6,325	1,75	17,04	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
39	6,325	1,75	17,23	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
40	6,325	1,75	17,42	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
41	6,325	1,75	17,61	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
42	6,325	1,75	17,80	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
43	6,325	1,75	17,99	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03



Node	la(m)	ka34 (earth)	Tearth	Cp (J /kg °C)	P (kg/m3)	a(m2/s)	ka23 (Cement)	ki12 (Coating)
44	6,325	1,75	18,18	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
45	6,325	1,75	18,37	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
46	6,325	1,75	18,56	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
47	6,325	1,75	18,75	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
48	6,325	1,75	18,94	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
49	6,325	1,75	19,13	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
50	6,325	1,75	19,32	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
51	6,325	1,75	19,51	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
52	6,325	1,75	19,70	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
53	6,325	1,75	19,89	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
54	6,325	1,75	20,08	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
55	6,325	1,75	20,27	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
56	6,325	1,75	20,46	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
57	6,325	1,75	20,65	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
58	6,325	1,75	20,84	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
59	6,325	1,75	21,03	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
60	6,325	1,75	21,22	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
61	6,325	1,75	21,41	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
62	6,325	1,75	21,60	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
63	6,325	1,75	21,79	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
64	6,325	1,75	21,98	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
65	6,325	1,75	22,17	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
66	6,325	1,75	22,36	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
67	6,325	1,75	22,55	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
68	6,325	1,75	22,75	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
69	6,325	1,75	22,94	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
70	6,325	1,75	23,13	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
71	6,325	1,75	23,32	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
72	6,325	1,75	23,51	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
73	6,325	1,75	23,70	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
74	6,325	1,75	23,89	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
75	6,325	1,75	24,08	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
76	6,325	1,75	24,27	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
77	6,325	1,75	24,46	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
78	6,325	1,75	24,65	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
79	6,325	1,75	24,84	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
80	6,325	1,75	25,03	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
81	6,325	1,75	25,22	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
82	6,325	1,75	25,41	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
83	6,325	1,75	25,60	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
84	6,325	1,75	25,79	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
85	6,325	1,75	25,98	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
86	6,325	1,75	26,17	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03



Node	la(m)	ka34 (earth)	Tearth	Cp (J /kg °C)	P (kg/m3)	a(m2/s)	ka23 (Cement)	ki12 (Coating)
87	6,325	1,75	26,36	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
88	6,325	1,75	26,55	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
89	6,325	1,75	26,74	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
90	6,325	1,75	26,93	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
91	6,325	1,75	27,12	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
92	6,325	1,75	27,31	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
93	6,325	1,75	27,50	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
94	6,325	1,75	27,69	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
95	6,325	1,75	27,88	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
96	6,325	1,75	28,07	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
97	6,325	1,75	28,26	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
98	6,325	1,75	28,45	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
99	6,325	1,75	28,64	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
100	6,325	1,75	28,83	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
101	6,325	1,75	29,02	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
102	6,325	1,75	29,21	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
103	6,325	1,75	29,40	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
104	6,325	1,75	29,59	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
105	6,325	1,75	29,78	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
106	6,325	1,75	29,97	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
107	6,325	1,75	30,16	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
108	6,325	1,75	30,35	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
109	6,325	1,75	30,54	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
110	6,325	1,75	30,73	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
111	6,325	1,75	30,92	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
112	6,325	1,75	31,12	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
113	6,325	1,75	31,31	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
114	6,325	1,75	31,50	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
115	6,325	1,75	31,69	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
116	6,325	1,75	31,88	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
117	6,325	1,75	32,07	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
118	6,325	1,75	32,26	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
119	6,325	1,75	32,45	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
120	6,325	1,75	32,64	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
121	6,325	1,75	32,83	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
122	6,325	1,75	33,02	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
123	6,325	1,75	33,21	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
124	6,325	1,75	33,40	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
125	6,325	1,77	33,59	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
126	6,325	1,77	33,78	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
127	6,325	1,77	33,97	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
128	6,325	1,77	34,16	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
129	6,325	1,77	34,35	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03



Node	la(m)	ka34 (earth)	Tearth	Cp (J /kg °C)	P (kg/m3)	a(m2/s)	ka23 (Cement)	ki12 (Coating)
130	6,325	1,77	34,54	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
131	6,325	1,77	34,73	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
132	6,325	1,77	34,92	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
133	6,325	1,77	35,11	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
134	6,325	1,77	35,30	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
135	6,325	1,77	35,49	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
136	6,325	1,77	35,68	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
137	6,325	1,77	35,87	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
138	6,325	1,77	36,06	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
139	6,325	1,77	36,25	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
140	6,325	1,77	36,44	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
141	6,325	1,77	36,63	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
142	6,325	1,77	36,82	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
143	6,325	1,77	37,01	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
144	6,325	1,77	37,20	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
145	6,325	1,77	37,39	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
146	6,325	1,77	37,58	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
147	6,325	1,77	37,77	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
148	6,325	1,77	37,96	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
149	6,325	1,77	38,15	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
150	6,325	1,77	38,34	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
151	6,325	1,77	38,53	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
152	6,325	1,77	38,72	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
153	6,325	1,77	38,91	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
154	6,325	1,77	39,10	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
155	6,325	1,77	39,29	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
156	6,325	1,77	39,48	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
157	6,325	1,77	39,68	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
158	6,325	1,77	39,87	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
159	6,325	1,77	40,06	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
160	6,325	1,77	40,25	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
161	6,325	1,77	40,44	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
162	6,325	1,77	40,63	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
163	6,325	1,77	40,82	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
164	6,325	1,77	41,01	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
165	6,325	1,77	41,20	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
166	6,325	1,77	41,39	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
167	6,325	1,77	41,58	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
168	6,325	1,77	41,77	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
169	6,325	1,77	41,96	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
170	6,325	1,77	42,15	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
171	6,325	1,77	42,34	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
172	6,325	1,77	42,53	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03



Node	la(m)	ka34 (earth)	Tearth	Cp (J /kg °C)	P (kg/m3)	a(m2/s)	ka23 (Cement)	ki12 (Coating)
173	6,325	1,77	42,72	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
174	6,325	1,77	42,91	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
175	6,325	1,77	43,10	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
176	6,325	1,77	43,29	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
177	6,325	1,77	43,48	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
178	6,325	1,77	43,67	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
179	6,325	1,77	43,86	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
180	6,325	1,77	44,05	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
181	6,325	1,77	44,24	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
182	6,325	1,77	44,43	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
183	6,325	1,77	44,62	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
184	6,325	1,77	44,81	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
185	6,325	1,77	45,00	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
186	6,325	1,77	45,19	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
187	6,325	1,77	45,38	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
188	6,325	1,77	45,57	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
189	6,325	1,77	45,76	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
190	6,325	1,77	45,95	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
191	6,325	1,77	46,14	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
192	6,325	1,77	46,33	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
193	6,325	1,77	46,52	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
194	6,325	1,77	46,71	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
195	6,325	1,77	46,90	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
196	6,325	1,77	47,09	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
197	6,325	2,09	47,28	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
198	6,325	2,09	47,47	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
199	6,325	2,09	47,66	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
200	6,325	2,09	47,85	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
201	6,325	2,09	48,05	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
202	6,325	2,09	48,24	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
203	6,325	2,09	48,43	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
204	6,325	2,09	48,62	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
205	6,325	2,09	48,81	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
206	6,325	2,09	49,00	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
207	6,325	2,09	49,19	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
208	6,325	2,09	49,38	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
209	6,325	2,09	49,57	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
210	6,325	2,09	49,76	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
211	6,325	2,09	49,95	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
212	6,325	2,09	50,14	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
213	6,325	2,09	50,33	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
214	6,325	2,09	50,52	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
215	6,325	2,09	50,71	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03



Node	la(m)	ka34 (earth)	Tearth	Cp (J /kg °C)	P (kg/m3)	a(m2/s)	ka23 (Cement)	ki12 (Coating)
216	6,325	2,09	50,90	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
217	6,325	2,09	51,09	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
218	6,325	2,09	51,28	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
219	6,325	2,09	51,47	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
220	6,325	2,09	51,66	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
221	6,325	2,09	51,85	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
222	6,325	2,09	52,04	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
223	6,325	2,09	52,23	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
224	6,325	2,09	52,42	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
225	6,325	2,09	52,61	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
226	6,325	2,09	52,80	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
227	6,325	2,09	52,99	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
228	6,325	2,09	53,18	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
229	6,325	2,09	53,37	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
230	6,325	2,09	53,56	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
231	6,325	2,09	53,75	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
232	6,325	2,09	53,94	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
233	6,325	2,09	54,13	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
234	6,325	2,09	54,32	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
235	6,325	2,09	54,51	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
236	6,325	2,09	54,70	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
237	6,325	2,09	54,89	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
238	6,325	2,09	55,08	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
239	6,325	2,09	55,27	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
240	6,325	2,09	55,46	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
241	6,325	2,09	55,65	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
242	6,325	2,09	55,84	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
243	6,325	2,09	56,03	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
244	6,325	2,09	56,22	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
245	6,325	2,09	56,42	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
246	6,325	2,09	56,61	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
247	6,325	2,09	56,80	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
248	6,325	2,09	56,99	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
249	6,325	2,09	57,18	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
250	6,325	2,09	57,37	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
251	6,325	2,09	57,56	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
252	6,325	2,09	57,75	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
253	6,325	2,09	57,94	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
254	6,325	2,09	58,13	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
255	6,325	2,09	58,32	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
256	6,325	2,09	58,51	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
257	6,325	2,09	58,70	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
258	6,325	2,09	58,89	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03



Node	la(m)	ka34 (earth)	Tearth	Cp (J /kg °C)	P (kg/m3)	a(m2/s)	ka23 (Cement)	ki12 (Coating)
259	6,325	2,09	59,08	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
260	6,325	2,09	59,27	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
261	6,325	2,09	59,46	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
262	6,325	2,09	59,65	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
263	6,325	2,09	59,84	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
264	6,325	2,09	60,03	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
265	6,325	2,09	60,22	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
266	6,325	2,09	60,41	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
267	6,325	2,09	60,60	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
268	6,325	2,09	60,79	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
269	6,325	2,09	60,98	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
270	6,325	2,09	61,17	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
271	6,325	2,09	61,36	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
272	6,325	2,09	61,55	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
273	6,325	2,86	61,74	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
274	6,325	2,86	61,93	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
275	6,325	2,86	62,12	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
276	6,325	2,86	62,31	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
277	6,325	2,86	62,50	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
278	6,325	2,86	62,69	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
279	6,325	2,86	62,88	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
280	6,325	2,86	63,07	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
281	6,325	2,86	63,26	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
282	6,325	2,86	63,45	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
283	6,325	2,86	63,64	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
284	6,325	2,86	63,83	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
285	6,325	2,86	64,02	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
286	6,325	2,86	64,21	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
287	6,325	2,86	64,40	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
288	6,325	2,86	64,59	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
289	6,325	2,86	64,78	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
290	6,325	2,86	64,98	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
291	6,325	2,86	65,17	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
292	6,325	2,86	65,36	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
293	6,325	2,86	65,55	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
294	6,325	2,86	65,74	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
295	6,325	2,86	65,93	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
296	6,325	2,86	66,12	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
297	6,325	2,86	66,31	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
298	6,325	2,86	66,50	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
299	6,325	2,86	66,69	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
300	6,325	2,86	66,88	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
301	6,325	2,86	67,07	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03



Node	la(m)	ka34 (earth)	Tearth	Cp (J /kg °C)	P (kg/m3)	a(m2/s)	ka23 (Cement)	ki12 (Coating)
302	6,325	2,86	67,26	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
303	6,325	2,86	67,45	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
304	6,325	2,86	67,64	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
305	6,325	2,86	67,83	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
306	6,325	2,86	68,02	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
307	6,325	2,86	68,21	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
308	6,325	2,86	68,40	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
309	6,325	2,86	68,59	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
310	6,325	2,86	68,78	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
311	6,325	2,86	68,97	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
312	6,325	2,86	69,16	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
313	6,325	2,86	69,35	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
314	6,325	2,86	69,54	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
315	6,325	2,86	69,73	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
316	6,325	2,86	69,92	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
317	6,325	2,86	70,11	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
318	6,325	3,01	70,30	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
319	6,325	3,01	70,49	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
320	6,325	3,01	70,68	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
321	6,325	3,01	70,87	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
322	6,325	3,01	71,06	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
323	6,325	3,01	71,25	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
324	6,325	3,01	71,44	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
325	6,325	3,01	71,63	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
326	6,325	3,01	71,82	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
327	6,325	3,01	72,01	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
328	6,325	3,01	72,20	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
329	6,325	3,01	72,39	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
330	6,325	3,01	72,58	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
331	6,325	3,01	72,77	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
332	6,325	3,01	72,96	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
333	6,325	3,01	73,15	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
334	6,325	3,01	73,35	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
335	6,325	3,01	73,54	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
336	6,325	3,01	73,73	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
337	6,325	3,01	73,92	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
338	6,325	3,01	74,11	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
339	6,325	3,01	74,30	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
340	6,325	3,01	74,49	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
341	6,325	3,01	74,68	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
342	6,325	3,01	74,87	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
343	6,325	3,01	75,06	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
344	6,325	3,01	75,25	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03



Node	la(m)	ka34 (earth)	Tearth	Cp (J /kg °C)	P (kg/m3)	a(m2/s)	ka23 (Cement)	ki12 (Coating)
345	6,325	3,01	75,44	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
346	6,325	3,01	75,63	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
347	6,325	3,01	75,82	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
348	6,325	3,01	76,01	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
349	6,325	3,01	76,20	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
350	6,325	3,01	76,39	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
351	6,325	3,01	76,58	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
352	6,325	3,01	76,77	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
353	6,325	3,01	76,96	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
354	6,325	3,01	77,15	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
355	6,325	3,01	77,34	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
356	6,325	3,01	77,53	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
357	6,325	3,01	77,72	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
358	6,325	3,01	77,91	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
359	6,325	3,01	78,10	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
360	6,325	3,01	78,29	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
361	6,325	3,01	78,48	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
362	6,325	3,01	78,67	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
363	6,325	3,01	78,86	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
364	6,325	3,01	79,05	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
365	6,325	3,01	79,24	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
366	6,325	3,01	79,43	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
367	6,325	3,01	79,62	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
368	6,325	3,01	79,81	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
369	6,325	3,01	80,00	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
370	6,325	3,01	80,19	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
371	6,325	3,01	80,38	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
372	6,325	3,01	80,57	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
373	6,325	3,01	80,76	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
374	6,325	3,01	80,95	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
375	6,325	3,01	81,14	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
376	6,325	3,01	81,33	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
377	6,325	3,01	81,52	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
378	6,325	3,01	81,72	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
379	6,325	3,01	81,91	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
380	6,325	3,01	82,10	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
381	6,325	3,01	82,29	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
382	6,325	3,01	82,48	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
383	6,325	3,03	82,67	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
384	6,325	3,03	82,86	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
385	6,325	3,03	83,05	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
386	6,325	3,03	83,24	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
387	6,325	3,03	83,43	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03



Node	la(m)	ka34 (earth)	Tearth	Cp (J /kg °C)	P (kg/m3)	a(m2/s)	ka23 (Cement)	ki12 (Coating)
388	6,325	3,03	83,62	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
389	6,325	3,03	83,81	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
390	6,325	3,03	84,00	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
391	6,325	3,03	84,19	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
392	6,325	3,03	84,38	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
393	6,325	3,03	84,57	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
394	6,325	3,03	84,76	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
395	6,325	3,03	84,95	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
396	6,325	3,03	85,14	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
397	6,325	3,03	85,33	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
398	6,325	3,03	85,52	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
399	6,325	3,03	85,71	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
400	6,325	3,03	85,90	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03



Twai	Twao	Twio	Twii	Heat Flux from earth(W/m ²)
39,000	38,871	57,722	57,740	-93,595
38,871	38,744	57,740	57,759	-92,766
38,744	38,619	57,759	57,778	-91,816
38,619	38,495	57,778	57,797	-90,828
38,495	38,373	57,797	57,816	-89,837
38,373	38,252	57,816	57,836	-88,850
38,252	38,134	57,836	57,855	-87,867
38,134	38,016	57,855	57,875	-86,890
38,016	37,901	57,875	57,895	-85,917
37,901	37,787	57,895	57,915	-84,950
37,787	37,675	57,915	57,935	-83,987
37,675	37,565	57,935	57,955	-83,030
37,565	37,456	57,955	57,975	-82,077
37,456	37,349	57,975	57,995	-81,129
37,349	37,243	57,995	58,016	-80,186
37,243	37,139	58,016	58,037	-79,248
37,139	37,037	58,037	58,057	-78,314
37,037	36,936	58,057	58,078	-77,386
36,936	36,836	58,078	58,099	-76,462
36,836	36,739	58,099	58,120	-75,543
36,739	36,643	58,120	58,142	-74,628
36,643	36,548	58,142	58,163	-73,718
36,548	36,455	58,163	58,184	-72,813
36,455	36,363	58,184	58,206	-71,912
36,363	36,273	58,206	58,228	-71,016
36,273	36,185	58,228	58,250	-70,125
36,185	36,098	58,250	58,271	-69,238
36,098	36,012	58,271	58,294	-68,356
36,012	35,928	58,294	58,316	-67,478
35,928	35,846	58,316	58,338	-66,605
35,846	35,765	58,338	58,360	-65,736
35,765	35,685	58,360	58,383	-64,871
35,685	35,607	58,383	58,405	-64,011
35,607	35,530	58,405	58,428	-63,155
35,530	35,455	58,428	58,451	-62,304
35,455	35,381	58,451	58,473	-61,457
35,381	35,309	58,473	58,496	-60,614
35,309	35,238	58,496	58,519	-59,776
35,238	35,168	58,519	58,543	-58,941
35,168	35,100	58,543	58,566	-58,112
35,100	35,033	58,566	58,589	-57,286
35,033	34,968	58,589	58,612	-56,464
34,968	34,904	58,612	58,636	-55,647
34,904	34,841	58,636	58,660	-54,834
34,841	34,780	58,660	58,683	-54,025



Twai	Twao	Twio	Twii	Heat Flux from earth(W/m ²)
34,780	34,720	58,683	58,707	-53,220
34,720	34,661	58,707	58,731	-52,419
34,661	34,604	58,731	58,755	-51,622
34,604	34,548	58,755	58,779	-50,829
34,548	34,493	58,779	58,803	-50,040
34,493	34,440	58,803	58,827	-49,255
34,440	34,388	58,827	58,851	-48,475
34,388	34,337	58,851	58,875	-47,698
34,337	34,287	58,875	58,900	-46,925
34,287	34,239	58,900	58,924	-46,156
34,239	34,192	58,924	58,949	-45,391
34,192	34,147	58,949	58,973	-44,629
34,147	34,102	58,973	58,998	-43,872
34,102	34,059	58,998	59,022	-43,118
34,059	34,017	59,022	59,047	-42,369
34,017	33,977	59,047	59,072	-41,623
33,977	33,937	59,072	59,097	-40,880
33,937	33,899	59,097	59,122	-40,142
33,899	33,862	59,122	59,147	-39,407
33,862	33,826	59,147	59,172	-38,676
33,826	33,792	59,172	59,197	-37,949
33,792	33,758	59,197	59,222	-37,225
33,758	33,726	59,222	59,248	-36,505
33,726	33,695	59,248	59,273	-35,789
33,695	33,665	59,273	59,298	-35,076
33,665	33,637	59,298	59,324	-34,367
33,637	33,609	59,324	59,349	-33,661
33,609	33,583	59,349	59,375	-32,959
33,583	33,558	59,375	59,400	-32,260
33,558	33,534	59,400	59,426	-31,565
33,534	33,511	59,426	59,452	-30,874
33,511	33,489	59,452	59,478	-30,185
33,489	33,469	59,478	59,503	-29,501
33,469	33,449	59,503	59,529	-28,820
33,449	33,431	59,529	59,555	-28,142
33,431	33,413	59,555	59,581	-27,467
33,413	33,397	59,581	59,607	-26,796
33,397	33,382	59,607	59,633	-26,129
33,382	33,368	59,633	59,659	-25,464
33,368	33,355	59,659	59,685	-24,803
33,355	33,343	59,685	59,711	-24,146
33,343	33,332	59,711	59,737	-23,491
33,332	33,323	59,737	59,763	-22,840
33,323	33,314	59,763	59,790	-22,192
33,314	33,306	59,790	59,816	-21,548



Twai	Twao	Twio	Twii	Heat Flux from earth(W/m ²)
33,306	33,300	59,816	59,842	-20,906
33,300	33,294	59,842	59,869	-20,268
33,294	33,290	59,869	59,895	-19,633
33,290	33,286	59,895	59,921	-19,001
33,286	33,284	59,921	59,948	-18,372
33,284	33,282	59,948	59,974	-17,747
33,282	33,282	59,974	60,001	-17,124
33,282	33,282	60,001	60,027	-16,505
33,282	33,284	60,027	60,054	-15,888
33,284	33,286	60,054	60,080	-15,275
33,286	33,290	60,080	60,107	-14,665
33,290	33,294	60,107	60,133	-14,058
33,294	33,300	60,133	60,160	-13,454
33,300	33,306	60,160	60,187	-12,852
33,306	33,314	60,187	60,213	-12,254
33,314	33,322	60,213	60,240	-11,659
33,322	33,331	60,240	60,267	-11,067
33,331	33,341	60,267	60,293	-10,477
33,341	33,353	60,293	60,320	-9,891
33,353	33,365	60,320	60,347	-9,307
33,365	33,378	60,347	60,374	-8,727
33,378	33,392	60,374	60,400	-8,149
33,392	33,406	60,400	60,427	-7,574
33,406	33,422	60,427	60,454	-7,002
33,422	33,439	60,454	60,481	-6,432
33,439	33,457	60,481	60,507	-5,866
33,457	33,475	60,507	60,534	-5,302
33,475	33,494	60,534	60,561	-4,741
33,494	33,515	60,561	60,588	-4,183
33,515	33,536	60,588	60,615	-3,627
33,536	33,558	60,615	60,642	-3,075
33,558	33,581	60,642	60,668	-2,525
33,581	33,604	60,668	60,695	-1,977
33,604	33,629	60,695	60,722	-1,430
33,629	33,654	60,722	60,749	-0,892
33,654	33,681	60,749	60,776	-0,351
33,681	33,708	60,776	60,803	0,190
33,708	33,736	60,803	60,830	0,728
33,736	33,765	60,830	60,856	1,264
33,765	33,794	60,856	60,883	1,797
33,794	33,825	60,883	60,910	2,328
33,825	33,856	60,910	60,937	2,856
33,856	33,888	60,937	60,964	3,381
33,888	33,921	60,964	60,991	3,904
33,921	33,955	60,991	61,017	4,424



Twai	Twao	Twio	Twii	Heat Flux from earth(W/m ²)
33,955	33,990	61,017	61,044	4,942
33,990	34,025	61,044	61,071	5,457
34,025	34,061	61,071	61,098	5,970
34,061	34,098	61,098	61,125	6,480
34,098	34,136	61,125	61,152	6,988
34,136	34,175	61,152	61,178	7,493
34,175	34,214	61,178	61,205	7,995
34,214	34,254	61,205	61,232	8,496
34,254	34,295	61,232	61,259	8,993
34,295	34,337	61,259	61,285	9,489
34,337	34,379	61,285	61,312	9,982
34,379	34,422	61,312	61,339	10,472
34,422	34,466	61,339	61,365	10,961
34,466	34,511	61,365	61,392	11,446
34,511	34,556	61,392	61,419	11,930
34,556	34,602	61,419	61,445	12,411
34,602	34,649	61,445	61,472	12,890
34,649	34,697	61,472	61,498	13,366
34,697	34,745	61,498	61,525	13,841
34,745	34,794	61,525	61,551	14,312
34,794	34,844	61,551	61,578	14,782
34,844	34,894	61,578	61,604	15,249
34,894	34,946	61,604	61,631	15,715
34,946	34,998	61,631	61,657	16,177
34,998	35,050	61,657	61,684	16,638
35,050	35,103	61,684	61,710	17,096
35,103	35,157	61,710	61,737	17,553
35,157	35,212	61,737	61,763	18,007
35,212	35,267	61,763	61,789	18,459
35,267	35,323	61,789	61,815	18,908
35,323	35,380	61,815	61,842	19,356
35,380	35,437	61,842	61,868	19,801
35,437	35,495	61,868	61,894	20,245
35,495	35,554	61,894	61,920	20,686
35,554	35,613	61,920	61,946	21,125
35,613	35,673	61,946	61,972	21,562
35,673	35,734	61,972	61,998	21,997
35,734	35,795	61,998	62,024	22,430
35,795	35,857	62,024	62,050	22,860
35,857	35,920	62,050	62,076	23,289
35,920	35,983	62,076	62,102	23,716
35,983	36,047	62,102	62,128	24,141
36,047	36,112	62,128	62,154	24,563
36,112	36,177	62,154	62,180	24,984
36,177	36,242	62,180	62,206	25,403



Twai	Twao	Twio	Twii	Heat Flux from earth(W/m ²)
36,242	36,309	62,206	62,231	25,820
36,309	36,376	62,231	62,257	26,234
36,376	36,443	62,257	62,283	26,647
36,443	36,511	62,283	62,308	27,058
36,511	36,580	62,308	62,334	27,467
36,580	36,649	62,334	62,359	27,874
36,649	36,719	62,359	62,385	28,279
36,719	36,790	62,385	62,410	28,682
36,790	36,861	62,410	62,435	29,084
36,861	36,933	62,435	62,461	29,483
36,933	37,005	62,461	62,486	29,881
37,005	37,078	62,486	62,511	30,277
37,078	37,151	62,511	62,536	30,671
37,151	37,225	62,536	62,562	31,062
37,225	37,300	62,562	62,587	31,443
37,300	37,375	62,587	62,612	31,797
37,375	37,458	62,612	62,637	37,005
37,458	37,542	62,637	62,662	37,290
37,542	37,626	62,662	62,687	37,668
37,626	37,711	62,687	62,711	38,071
37,711	37,796	62,711	62,736	38,477
37,796	37,882	62,736	62,761	38,882
37,882	37,968	62,761	62,785	39,284
37,968	38,055	62,785	62,810	39,685
38,055	38,143	62,810	62,834	40,083
38,143	38,231	62,834	62,859	40,479
38,231	38,320	62,859	62,883	40,874
38,320	38,409	62,883	62,908	41,266
38,409	38,499	62,908	62,932	41,656
38,499	38,589	62,932	62,956	42,044
38,589	38,680	62,956	62,980	42,430
38,680	38,771	62,980	63,004	42,814
38,771	38,863	63,004	63,028	43,196
38,863	38,956	63,028	63,052	43,576
38,956	39,049	63,052	63,076	43,954
39,049	39,142	63,076	63,100	44,331
39,142	39,236	63,100	63,123	44,705
39,236	39,331	63,123	63,147	45,077
39,331	39,426	63,147	63,171	45,448
39,426	39,521	63,171	63,194	45,816
39,521	39,617	63,194	63,218	46,183
39,617	39,714	63,218	63,241	46,547
39,714	39,811	63,241	63,264	46,910
39,811	39,909	63,264	63,287	47,271
39,909	40,007	63,287	63,311	47,630



Twai	Twao	Twio	Twii	Heat Flux from earth(W/m ²)
40,007	40,105	63,311	63,334	47,988
40,105	40,204	63,334	63,357	48,343
40,204	40,304	63,357	63,380	48,697
40,304	40,404	63,380	63,402	49,049
40,404	40,504	63,402	63,425	49,399
40,504	40,605	63,425	63,448	49,747
40,605	40,707	63,448	63,470	50,094
40,707	40,808	63,470	63,493	50,439
40,808	40,911	63,493	63,515	50,782
40,911	41,014	63,515	63,538	51,123
41,014	41,117	63,538	63,560	51,463
41,117	41,221	63,560	63,582	51,801
41,221	41,325	63,582	63,604	52,138
41,325	41,429	63,604	63,626	52,472
41,429	41,534	63,626	63,648	52,805
41,534	41,640	63,648	63,670	53,137
41,640	41,746	63,670	63,692	53,466
41,746	41,852	63,692	63,714	53,794
41,852	41,959	63,714	63,735	54,121
41,959	42,066	63,735	63,757	54,446
42,066	42,174	63,757	63,778	54,769
42,174	42,282	63,778	63,800	55,091
42,282	42,390	63,800	63,821	55,411
42,390	42,499	63,821	63,842	55,729
42,499	42,608	63,842	63,863	56,046
42,608	42,718	63,863	63,884	56,362
42,718	42,828	63,884	63,905	56,676
42,828	42,939	63,905	63,926	56,988
42,939	43,049	63,926	63,947	57,299
43,049	43,161	63,947	63,968	57,608
43,161	43,272	63,968	63,988	57,916
43,272	43,385	63,988	64,009	58,223
43,385	43,497	64,009	64,029	58,527
43,497	43,610	64,029	64,049	58,831
43,610	43,723	64,049	64,070	59,133
43,723	43,837	64,070	64,090	59,433
43,837	43,951	64,090	64,110	59,733
43,951	44,065	64,110	64,130	60,030
44,065	44,180	64,130	64,149	60,327
44,180	44,295	64,149	64,169	60,622
44,295	44,410	64,169	64,189	60,915
44,410	44,526	64,189	64,208	61,207
44,526	44,642	64,208	64,228	61,498
44,642	44,759	64,228	64,247	61,786
44,759	44,876	64,247	64,267	62,066



Twai	Twao	Twio	Twii	Heat Flux from earth(W/m ²)
44,876	44,993	64,267	64,286	62,295
44,993	45,110	64,286	64,305	62,402
45,110	45,257	64,305	64,324	81,123
45,257	45,403	64,324	64,343	80,945
45,403	45,549	64,343	64,361	81,046
45,549	45,696	64,361	64,380	81,229
45,696	45,842	64,380	64,398	81,482
45,842	45,989	64,398	64,417	81,653
45,989	46,136	64,417	64,435	81,942
46,136	46,283	64,435	64,453	82,114
46,283	46,431	64,453	64,471	82,354
46,431	46,579	64,471	64,489	82,583
46,579	46,727	64,489	64,506	82,796
46,727	46,875	64,506	64,524	83,010
46,875	47,023	64,524	64,541	83,232
47,023	47,172	64,541	64,559	83,452
47,172	47,321	64,559	64,576	83,666
47,321	47,470	64,576	64,593	83,877
47,470	47,619	64,593	64,610	84,090
47,619	47,768	64,610	64,627	84,304
47,768	47,918	64,627	64,643	84,517
47,918	48,068	64,643	64,660	84,727
48,068	48,218	64,660	64,676	84,935
48,218	48,368	64,676	64,692	85,142
48,368	48,518	64,692	64,708	85,349
48,518	48,669	64,708	64,724	85,556
48,669	48,819	64,724	64,740	85,762
48,819	48,970	64,740	64,756	85,966
48,970	49,122	64,756	64,772	86,168
49,122	49,273	64,772	64,787	86,370
49,273	49,424	64,787	64,802	86,571
49,424	49,576	64,802	64,817	86,771
49,576	49,728	64,817	64,833	86,971
49,728	49,880	64,833	64,847	87,170
49,880	50,032	64,847	64,862	87,367
50,032	50,185	64,862	64,877	87,564
50,185	50,337	64,877	64,891	87,759
50,337	50,490	64,891	64,906	87,953
50,490	50,643	64,906	64,920	88,147
50,643	50,796	64,920	64,934	88,340
50,796	50,949	64,934	64,948	88,533
50,949	51,102	64,948	64,962	88,724
51,102	51,256	64,962	64,975	88,915
51,256	51,410	64,975	64,989	89,106
51,410	51,563	64,989	65,002	89,301



Twai	Twao	Twio	Twii	Heat Flux from earth(W/m ²)
51,563	51,718	65,002	65,016	89,519
51,718	51,872	65,016	65,029	89,849
51,872	52,033	65,029	65,042	94,381
52,033	52,195	65,042	65,054	94,614
52,195	52,357	65,054	65,067	94,784
52,357	52,519	65,067	65,080	94,944
52,519	52,681	65,080	65,092	95,101
52,681	52,843	65,092	65,104	95,258
52,843	53,005	65,104	65,116	95,414
53,005	53,167	65,116	65,128	95,570
53,167	53,330	65,128	65,140	95,725
53,330	53,492	65,140	65,152	95,879
53,492	53,655	65,152	65,163	96,033
53,655	53,817	65,163	65,174	96,187
53,817	53,980	65,174	65,186	96,339
53,980	54,143	65,186	65,197	96,492
54,143	54,306	65,197	65,208	96,643
54,306	54,469	65,208	65,218	96,795
54,469	54,632	65,218	65,229	96,945
54,632	54,795	65,229	65,239	97,095
54,795	54,958	65,239	65,250	97,245
54,958	55,122	65,250	65,260	97,394
55,122	55,285	65,260	65,270	97,543
55,285	55,449	65,270	65,280	97,691
55,449	55,612	65,280	65,289	97,839
55,612	55,776	65,289	65,299	97,986
55,776	55,940	65,299	65,308	98,132
55,940	56,103	65,308	65,317	98,279
56,103	56,267	65,317	65,326	98,424
56,267	56,431	65,326	65,335	98,570
56,431	56,595	65,335	65,344	98,715
56,595	56,759	65,344	65,353	98,859
56,759	56,924	65,353	65,361	99,003
56,924	57,088	65,361	65,369	99,146
57,088	57,252	65,369	65,377	99,289
57,252	57,417	65,377	65,385	99,432
57,417	57,581	65,385	65,393	99,574
57,581	57,746	65,393	65,401	99,716
57,746	57,910	65,401	65,408	99,857
57,910	58,075	65,408	65,416	99,998
58,075	58,240	65,416	65,423	100,139
58,240	58,404	65,423	65,430	100,279
58,404	58,569	65,430	65,437	100,419
58,569	58,734	65,437	65,444	100,558
58,734	58,899	65,444	65,450	100,697



Twai	Twao	Twio	Twii	Heat Flux from earth(W/m ²)
58,899	59,064	65,450	65,457	100,836
59,064	59,229	65,457	65,463	100,974
59,229	59,395	65,463	65,469	101,112
59,395	59,560	65,469	65,475	101,249
59,560	59,725	65,475	65,481	101,386
59,725	59,890	65,481	65,486	101,523
59,890	60,056	65,486	65,492	101,659
60,056	60,221	65,492	65,497	101,795
60,221	60,387	65,497	65,502	101,931
60,387	60,552	65,502	65,507	102,067
60,552	60,718	65,507	65,512	102,202
60,718	60,884	65,512	65,517	102,336
60,884	61,049	65,517	65,521	102,471
61,049	61,215	65,521	65,526	102,605
61,215	61,381	65,526	65,530	102,738
61,381	61,547	65,530	65,534	102,872
61,547	61,713	65,534	65,538	103,005
61,713	61,879	65,538	65,541	103,138
61,879	62,045	65,541	65,545	103,271
62,045	62,211	65,545	65,548	103,405
62,211	62,377	65,548	65,552	103,546



Time	Time	Temp.	Q
s	hr	°C	kW
200000	56	70,9	126
400000	111	68,4	115
600000	167	66,6	109
800000	222	65,5	104
1000000	278	64,6	101
1200000	333	64,0	98
1400000	389	63,5	96
1600000	444	63,2	95
1800000	500	62,8	94
2000000	556	62,6	93
2200000	611	62,3	92
2400000	667	62,1	91
2600000	722	61,9	90
2800000	778	61,7	89
3000000	833	61,5	89
3200000	889	61,4	88
3400000	944	61,3	88
3600000	1000	61,2	87
3800000	1056	61,1	87
4000000	1111	61,0	87
4200000	1167	60,9	86
4400000	1222	60,8	86
4600000	1278	60,7	85
4800000	1333	60,7	85
5000000	1389	60,6	85
5200000	1444	60,5	85
5400000	1500	60,5	84
5600000	1556	60,4	84
5800000	1611	60,3	84
6000000	1667	60,3	84
6200000	1722	60,2	83
6400000	1778	60,2	83
6600000	1833	60,1	83
6800000	1889	60,1	83
7000000	1944	60,0	83
7200000	2000	60,0	82
7400000	2056	59,9	82
7600000	2111	59,9	82
7800000	2167	59,8	82
8000000	2222	59,8	82
8200000	2278	59,7	81
8400000	2333	59,7	81
8600000	2389	59,7	81
8800000	2444	59,6	81



Time	Time	Temp.	Q
s	hr	°C	kW
9000000	2500	59,6	81
9200000	2556	59,5	81
9400000	2611	59,5	81
9600000	2667	59,5	80
9800000	2722	59,4	80
10000000	2778	59,4	80
10200000	2833	59,4	80
10400000	2889	59,3	80
10600000	2944	59,3	80
10800000	3000	59,3	80
11000000	3056	59,3	80
11200000	3111	59,2	80
11400000	3167	59,2	79
11600000	3222	59,2	79
11800000	3278	59,1	79
12000000	3333	59,1	79
12200000	3389	59,1	79
12400000	3444	59,1	79
12600000	3500	59,0	79
12800000	3556	59,0	79
13000000	3611	59,0	79
13200000	3667	59,0	78
13400000	3722	58,9	78
13600000	3778	58,9	78
13800000	3833	58,9	78
14000000	3889	58,9	78
14200000	3944	58,9	78
14400000	4000	58,8	78
14600000	4056	58,8	78
14800000	4111	58,8	78
15000000	4167	58,8	78
15200000	4222	58,8	78
15400000	4278	58,7	78
15600000	4333	58,7	77
15800000	4389	58,7	77
16000000	4444	58,7	77
16200000	4500	58,7	77
16400000	4556	58,6	77
16600000	4611	58,6	77
16800000	4667	58,6	77
17000000	4722	58,6	77
17200000	4778	58,6	77
17400000	4833	58,6	77
17600000	4889	58,5	77

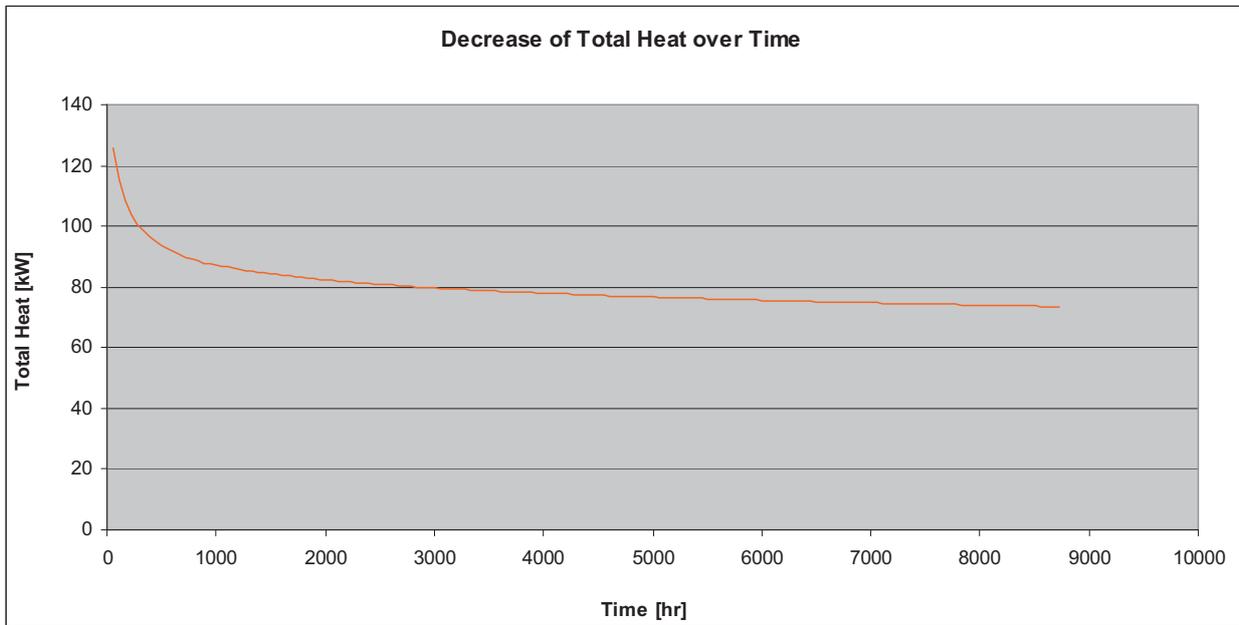
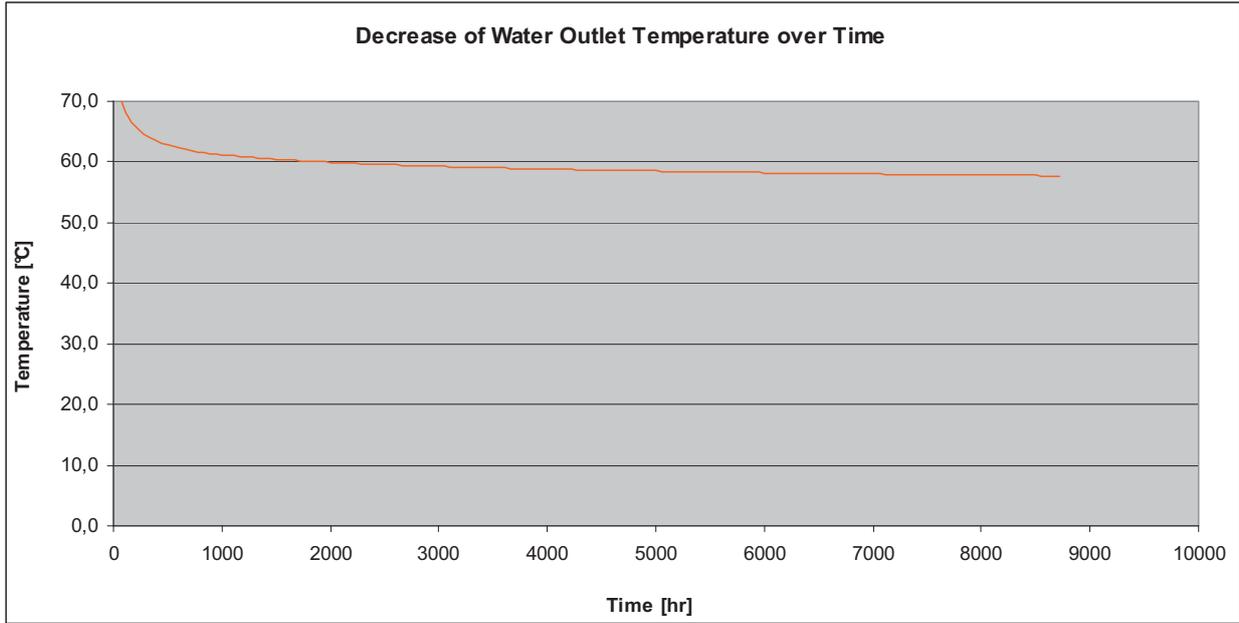


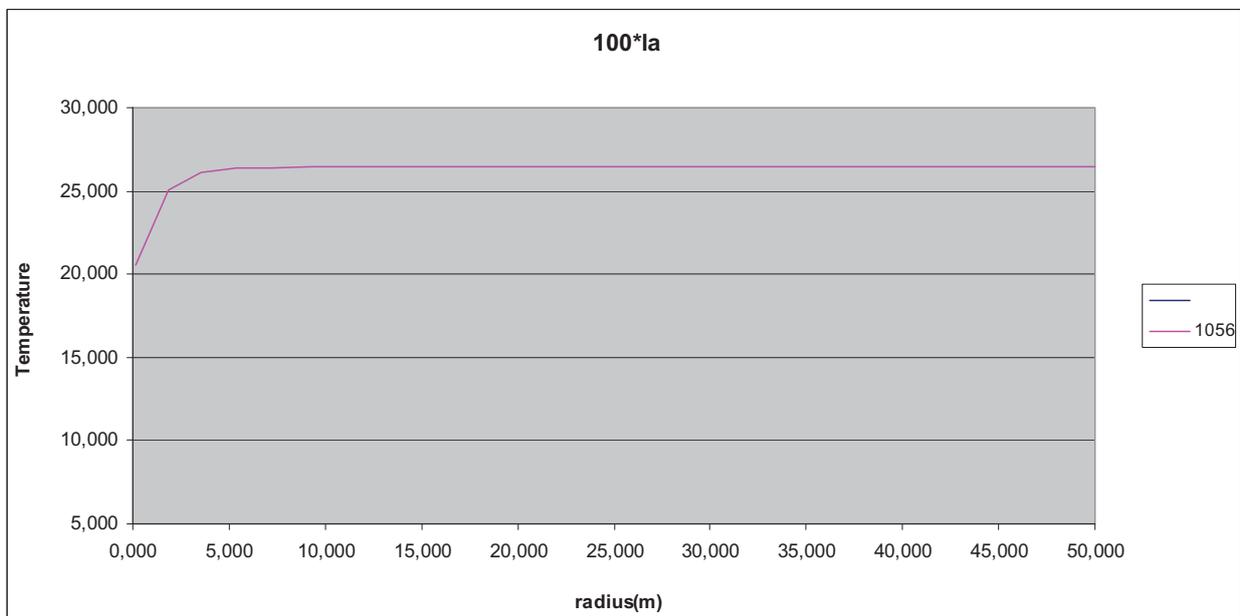
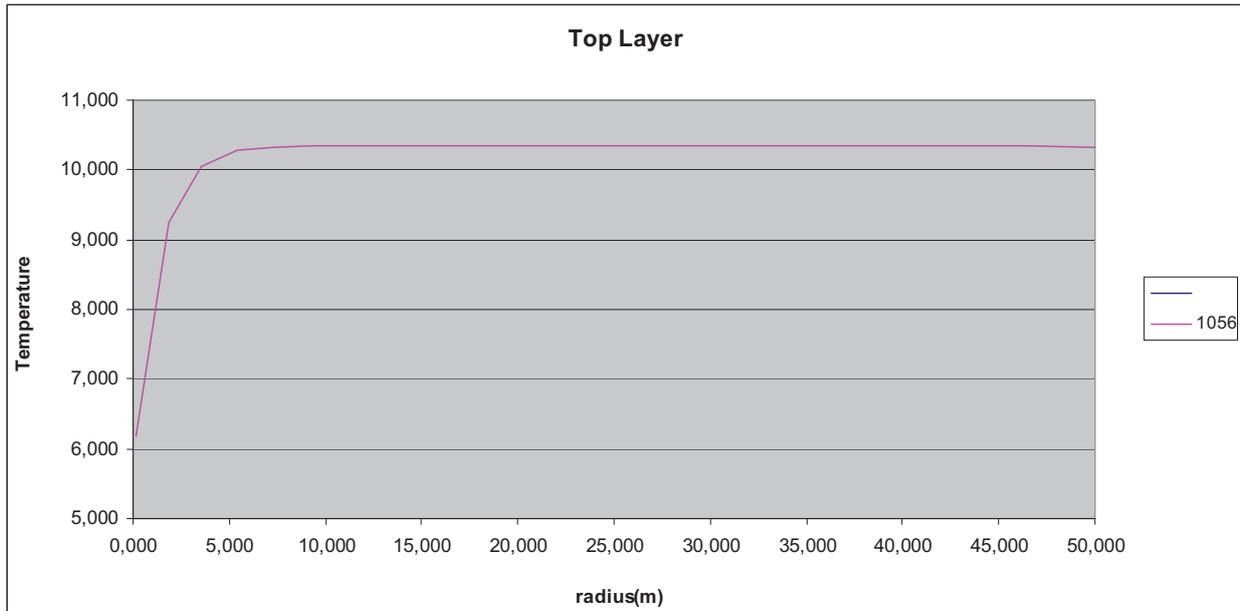
Time	Time	Temp.	Q
s	hr	°C	kW
17800000	4944	58,5	77
18000000	5000	58,5	77
18200000	5056	58,5	77
18400000	5111	58,5	77
18600000	5167	58,5	76
18800000	5222	58,4	76
19000000	5278	58,4	76
19200000	5333	58,4	76
19400000	5389	58,4	76
19600000	5444	58,4	76
19800000	5500	58,4	76
20000000	5556	58,4	76
20200000	5611	58,3	76
20400000	5667	58,3	76
20600000	5722	58,3	76
20800000	5778	58,3	76
21000000	5833	58,3	76
21200000	5889	58,3	76
21400000	5944	58,3	76
21600000	6000	58,2	76
21800000	6056	58,2	76
22000000	6111	58,2	76
22200000	6167	58,2	75
22400000	6222	58,2	75
22600000	6278	58,2	75
22800000	6333	58,2	75
23000000	6389	58,2	75
23200000	6444	58,1	75
23400000	6500	58,1	75
23600000	6556	58,1	75
23800000	6611	58,1	75
24000000	6667	58,1	75
24200000	6722	58,1	75
24400000	6778	58,1	75
24600000	6833	58,1	75
24800000	6889	58,0	75
25000000	6944	58,0	75
25200000	7000	58,0	75
25400000	7056	58,0	75
25600000	7111	58,0	75
25800000	7167	58,0	75
26000000	7222	58,0	75
26200000	7278	58,0	75
26400000	7333	58,0	75

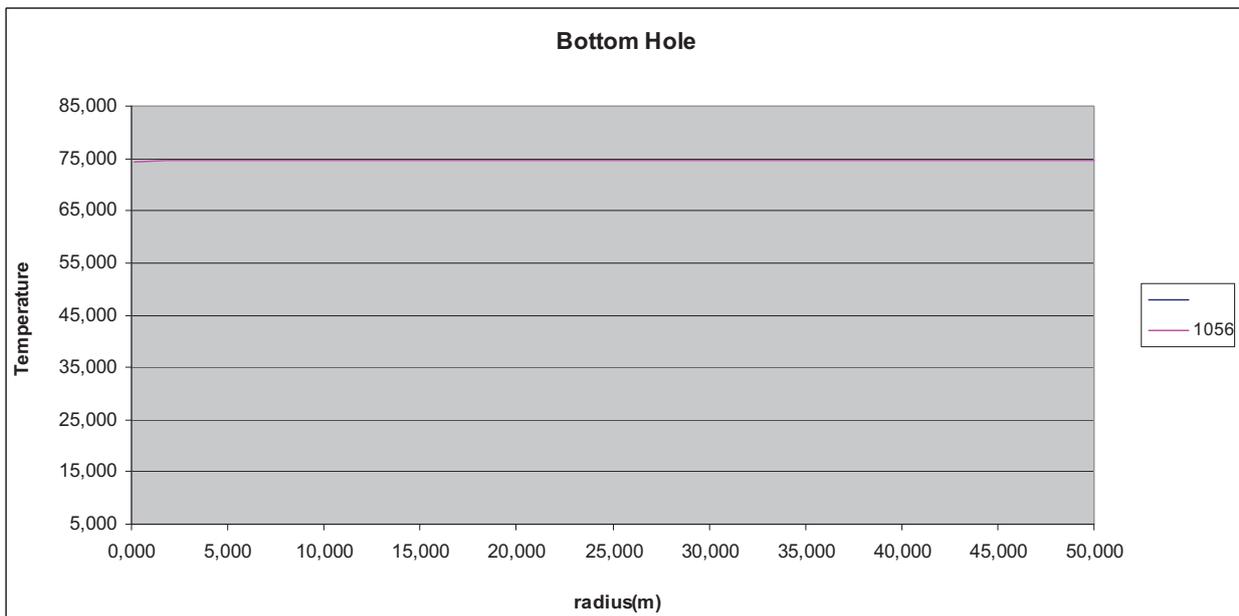
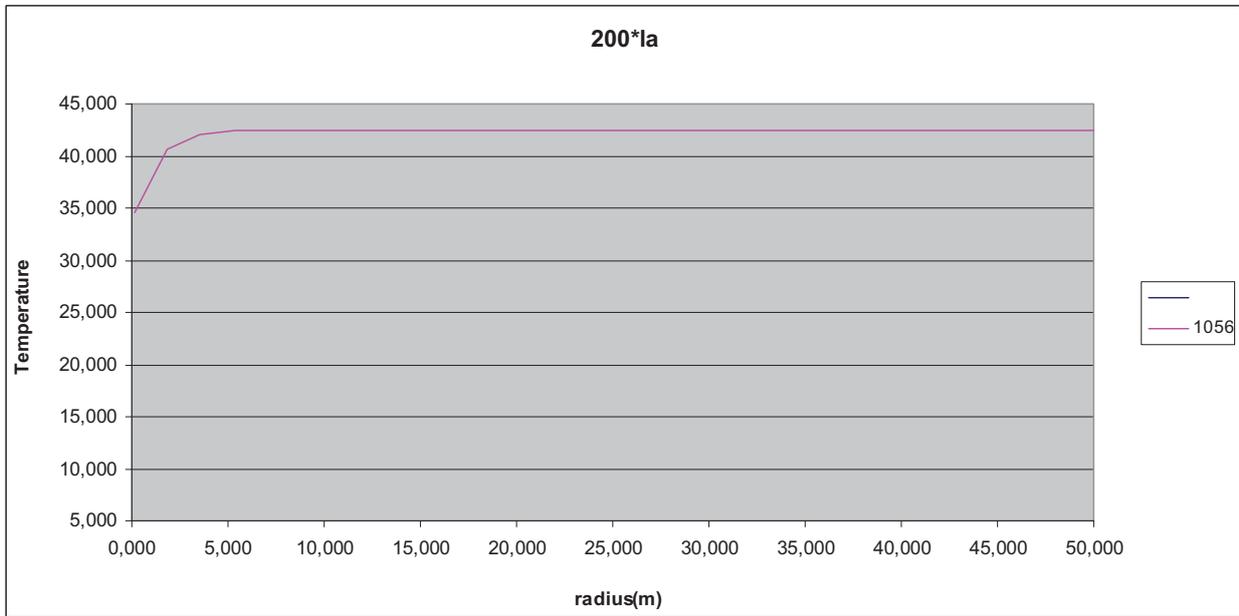
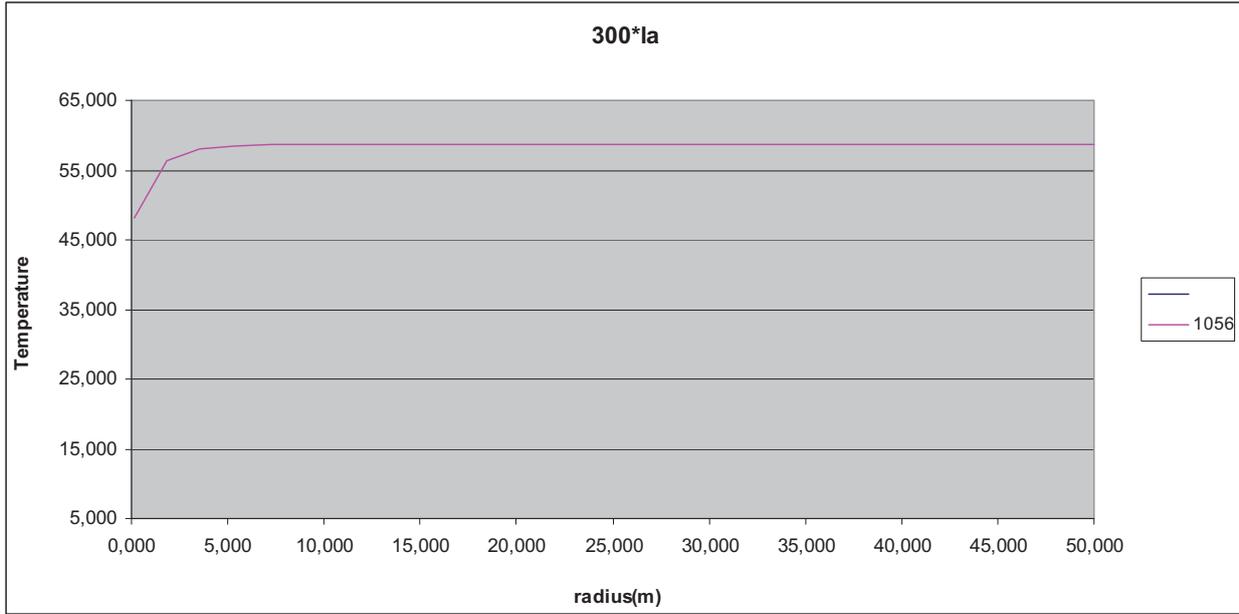


Time	Time	Temp.	Q
s	hr	°C	kW
26600000	7389	57,9	74
26800000	7444	57,9	74
27000000	7500	57,9	74
27200000	7556	57,9	74
27400000	7611	57,9	74
27600000	7667	57,9	74
27800000	7722	57,9	74
28000000	7778	57,9	74
28200000	7833	57,9	74
28400000	7889	57,9	74
28600000	7944	57,8	74
28800000	8000	57,8	74
29000000	8056	57,8	74
29200000	8111	57,8	74
29400000	8167	57,8	74
29600000	8222	57,8	74
29800000	8278	57,8	74
30000000	8333	57,8	74
30200000	8389	57,8	74
30400000	8444	57,8	74
30600000	8500	57,8	74
30800000	8556	57,7	74
31000000	8611	57,7	74
31200000	8667	57,7	74
31400000	8722	57,7	74









Anhang 5
Simulation Sonde Hirschstetten 5
Beheizung Gärtnerei, Variante 2



Outer Tube	(in m)		Material		$\lambda(W/m/^\circ C)$		Inlet condition	$^\circ C$
da2	0,2445		Steel	Outer	45		Tinlet	30,00
sa12	0,00919			Inner	45		Tearth	
sa23	0,0334		Cement				Tamb	10,00
da4	100		Coating					
			Water	Density	1012	kg/m ³		
Inner tube	(in m)			Specific Heat	3930	J/kg/K		
di3	0,1778							
si23	0,01128	total thickness of both tubes						
si12	0,0439	Thickness of gas layer						
							gf	1,04
Nodes(z-dir)	400						modolo	1
Nodes(r-dir)	20							
Q	0,168	MW						
Mass Flow	2,810	kg/s						
Exergy	0,019	MW						
U	0,18	m/s						

delr0	1,641	m						
delz	6,325	m						
time (sec)	100000000	31500000				1157,407		
delt (sec)	200000	10000	400000			2,315	56	
Time-steps	158					366		
up-timesteps	450							
down-timesteps	3							



Node	la(m)	ka34 (earth)	Tearth	Cp (J / kg °C)	ρ(kg/m3)	a(m2/s)	ka23 (Cement)	ki12 (Coating)
1	6,325	1,75	10,00	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
2	6,325	1,75	10,19	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
3	6,325	1,75	10,38	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
4	6,325	1,75	10,57	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
5	6,325	1,75	10,76	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
6	6,325	1,75	10,95	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
7	6,325	1,75	11,14	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
8	6,325	1,75	11,33	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
9	6,325	1,75	11,52	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
10	6,325	1,75	11,71	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
11	6,325	1,75	11,90	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
12	6,325	1,75	12,09	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
13	6,325	1,75	12,28	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
14	6,325	1,75	12,47	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
15	6,325	1,75	12,66	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
16	6,325	1,75	12,85	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
17	6,325	1,75	13,04	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
18	6,325	1,75	13,23	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
19	6,325	1,75	13,42	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
20	6,325	1,75	13,61	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
21	6,325	1,75	13,80	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
22	6,325	1,75	13,99	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
23	6,325	1,75	14,18	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
24	6,325	1,75	14,38	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
25	6,325	1,75	14,57	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
26	6,325	1,75	14,76	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
27	6,325	1,75	14,95	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
28	6,325	1,75	15,14	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
29	6,325	1,75	15,33	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
30	6,325	1,75	15,52	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
31	6,325	1,75	15,71	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
32	6,325	1,75	15,90	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
33	6,325	1,75	16,09	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
34	6,325	1,75	16,28	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
35	6,325	1,75	16,47	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
36	6,325	1,75	16,66	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
37	6,325	1,75	16,85	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
38	6,325	1,75	17,04	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
39	6,325	1,75	17,23	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
40	6,325	1,75	17,42	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
41	6,325	1,75	17,61	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
42	6,325	1,75	17,80	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
43	6,325	1,75	17,99	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
44	6,325	1,75	18,18	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03



Node	la(m)	ka34 (earth)	Tearth	Cp (J / kg °C)	ρ(kg/m3)	a(m2/s)	ka23 (Cement)	ki12 (Coating)
45	6,325	1,75	18,37	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
46	6,325	1,75	18,56	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
47	6,325	1,75	18,75	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
48	6,325	1,75	18,94	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
49	6,325	1,75	19,13	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
50	6,325	1,75	19,32	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
51	6,325	1,75	19,51	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
52	6,325	1,75	19,70	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
53	6,325	1,75	19,89	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
54	6,325	1,75	20,08	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
55	6,325	1,75	20,27	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
56	6,325	1,75	20,46	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
57	6,325	1,75	20,65	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
58	6,325	1,75	20,84	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
59	6,325	1,75	21,03	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
60	6,325	1,75	21,22	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
61	6,325	1,75	21,41	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
62	6,325	1,75	21,60	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
63	6,325	1,75	21,79	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
64	6,325	1,75	21,98	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
65	6,325	1,75	22,17	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
66	6,325	1,75	22,36	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
67	6,325	1,75	22,55	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
68	6,325	1,75	22,75	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
69	6,325	1,75	22,94	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
70	6,325	1,75	23,13	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
71	6,325	1,75	23,32	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
72	6,325	1,75	23,51	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
73	6,325	1,75	23,70	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
74	6,325	1,75	23,89	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
75	6,325	1,75	24,08	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
76	6,325	1,75	24,27	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
77	6,325	1,75	24,46	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
78	6,325	1,75	24,65	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
79	6,325	1,75	24,84	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
80	6,325	1,75	25,03	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
81	6,325	1,75	25,22	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
82	6,325	1,75	25,41	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
83	6,325	1,75	25,60	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
84	6,325	1,75	25,79	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
85	6,325	1,75	25,98	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
86	6,325	1,75	26,17	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
87	6,325	1,75	26,36	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
88	6,325	1,75	26,55	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03



Node	la(m)	ka34 (earth)	Tearth	Cp (J / kg °C)	ρ(kg/m3)	a(m2/s)	ka23 (Cement)	ki12 (Coating)
89	6,325	1,75	26,74	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
90	6,325	1,75	26,93	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
91	6,325	1,75	27,12	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
92	6,325	1,75	27,31	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
93	6,325	1,75	27,50	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
94	6,325	1,75	27,69	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
95	6,325	1,75	27,88	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
96	6,325	1,75	28,07	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
97	6,325	1,75	28,26	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
98	6,325	1,75	28,45	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
99	6,325	1,75	28,64	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
100	6,325	1,75	28,83	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
101	6,325	1,75	29,02	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
102	6,325	1,75	29,21	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
103	6,325	1,75	29,40	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
104	6,325	1,75	29,59	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
105	6,325	1,75	29,78	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
106	6,325	1,75	29,97	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
107	6,325	1,75	30,16	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
108	6,325	1,75	30,35	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
109	6,325	1,75	30,54	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
110	6,325	1,75	30,73	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
111	6,325	1,75	30,92	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
112	6,325	1,75	31,12	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
113	6,325	1,75	31,31	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
114	6,325	1,75	31,50	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
115	6,325	1,75	31,69	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
116	6,325	1,75	31,88	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
117	6,325	1,75	32,07	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
118	6,325	1,75	32,26	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
119	6,325	1,75	32,45	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
120	6,325	1,75	32,64	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
121	6,325	1,75	32,83	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
122	6,325	1,75	33,02	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
123	6,325	1,75	33,21	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
124	6,325	1,75	33,40	1152,00	1900,00	8,0E-07	2	0,03
125	6,325	1,77	33,59	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
126	6,325	1,77	33,78	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
127	6,325	1,77	33,97	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
128	6,325	1,77	34,16	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
129	6,325	1,77	34,35	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
130	6,325	1,77	34,54	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
131	6,325	1,77	34,73	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
132	6,325	1,77	34,92	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03



Node	la(m)	ka34 (earth)	Tearth	Cp (J / kg °C)	ρ(kg/m3)	a(m2/s)	ka23 (Cement)	ki12 (Coating)
133	6,325	1,77	35,11	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
134	6,325	1,77	35,30	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
135	6,325	1,77	35,49	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
136	6,325	1,77	35,68	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
137	6,325	1,77	35,87	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
138	6,325	1,77	36,06	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
139	6,325	1,77	36,25	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
140	6,325	1,77	36,44	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
141	6,325	1,77	36,63	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
142	6,325	1,77	36,82	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
143	6,325	1,77	37,01	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
144	6,325	1,77	37,20	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
145	6,325	1,77	37,39	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
146	6,325	1,77	37,58	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
147	6,325	1,77	37,77	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
148	6,325	1,77	37,96	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
149	6,325	1,77	38,15	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
150	6,325	1,77	38,34	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
151	6,325	1,77	38,53	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
152	6,325	1,77	38,72	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
153	6,325	1,77	38,91	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
154	6,325	1,77	39,10	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
155	6,325	1,77	39,29	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
156	6,325	1,77	39,48	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
157	6,325	1,77	39,68	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
158	6,325	1,77	39,87	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
159	6,325	1,77	40,06	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
160	6,325	1,77	40,25	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
161	6,325	1,77	40,44	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
162	6,325	1,77	40,63	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
163	6,325	1,77	40,82	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
164	6,325	1,77	41,01	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
165	6,325	1,77	41,20	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
166	6,325	1,77	41,39	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
167	6,325	1,77	41,58	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
168	6,325	1,77	41,77	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
169	6,325	1,77	41,96	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
170	6,325	1,77	42,15	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
171	6,325	1,77	42,34	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
172	6,325	1,77	42,53	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
173	6,325	1,77	42,72	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
174	6,325	1,77	42,91	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
175	6,325	1,77	43,10	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
176	6,325	1,77	43,29	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03



Node	la(m)	ka34 (earth)	Tearth	Cp (J / kg °C)	ρ(kg/m3)	a(m2/s)	ka23 (Cement)	ki12 (Coating)
177	6,325	1,77	43,48	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
178	6,325	1,77	43,67	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
179	6,325	1,77	43,86	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
180	6,325	1,77	44,05	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
181	6,325	1,77	44,24	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
182	6,325	1,77	44,43	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
183	6,325	1,77	44,62	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
184	6,325	1,77	44,81	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
185	6,325	1,77	45,00	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
186	6,325	1,77	45,19	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
187	6,325	1,77	45,38	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
188	6,325	1,77	45,57	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
189	6,325	1,77	45,76	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
190	6,325	1,77	45,95	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
191	6,325	1,77	46,14	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
192	6,325	1,77	46,33	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
193	6,325	1,77	46,52	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
194	6,325	1,77	46,71	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
195	6,325	1,77	46,90	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
196	6,325	1,77	47,09	1145,00	1900,00	8,1E-07	2	0,03
197	6,325	2,09	47,28	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
198	6,325	2,09	47,47	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
199	6,325	2,09	47,66	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
200	6,325	2,09	47,85	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
201	6,325	2,09	48,05	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
202	6,325	2,09	48,24	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
203	6,325	2,09	48,43	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
204	6,325	2,09	48,62	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
205	6,325	2,09	48,81	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
206	6,325	2,09	49,00	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
207	6,325	2,09	49,19	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
208	6,325	2,09	49,38	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
209	6,325	2,09	49,57	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
210	6,325	2,09	49,76	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
211	6,325	2,09	49,95	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
212	6,325	2,09	50,14	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
213	6,325	2,09	50,33	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
214	6,325	2,09	50,52	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
215	6,325	2,09	50,71	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
216	6,325	2,09	50,90	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
217	6,325	2,09	51,09	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
218	6,325	2,09	51,28	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
219	6,325	2,09	51,47	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
220	6,325	2,09	51,66	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03



Node	la(m)	ka34 (earth)	Tearth	Cp (J / kg °C)	ρ(kg/m3)	a(m2/s)	ka23 (Cement)	ki12 (Coating)
221	6,325	2,09	51,85	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
222	6,325	2,09	52,04	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
223	6,325	2,09	52,23	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
224	6,325	2,09	52,42	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
225	6,325	2,09	52,61	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
226	6,325	2,09	52,80	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
227	6,325	2,09	52,99	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
228	6,325	2,09	53,18	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
229	6,325	2,09	53,37	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
230	6,325	2,09	53,56	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
231	6,325	2,09	53,75	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
232	6,325	2,09	53,94	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
233	6,325	2,09	54,13	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
234	6,325	2,09	54,32	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
235	6,325	2,09	54,51	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
236	6,325	2,09	54,70	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
237	6,325	2,09	54,89	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
238	6,325	2,09	55,08	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
239	6,325	2,09	55,27	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
240	6,325	2,09	55,46	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
241	6,325	2,09	55,65	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
242	6,325	2,09	55,84	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
243	6,325	2,09	56,03	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
244	6,325	2,09	56,22	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
245	6,325	2,09	56,42	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
246	6,325	2,09	56,61	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
247	6,325	2,09	56,80	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
248	6,325	2,09	56,99	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
249	6,325	2,09	57,18	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
250	6,325	2,09	57,37	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
251	6,325	2,09	57,56	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
252	6,325	2,09	57,75	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
253	6,325	2,09	57,94	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
254	6,325	2,09	58,13	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
255	6,325	2,09	58,32	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
256	6,325	2,09	58,51	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
257	6,325	2,09	58,70	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
258	6,325	2,09	58,89	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
259	6,325	2,09	59,08	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
260	6,325	2,09	59,27	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
261	6,325	2,09	59,46	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
262	6,325	2,09	59,65	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
263	6,325	2,09	59,84	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
264	6,325	2,09	60,03	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03



Node	la(m)	ka34 (earth)	Tearth	Cp (J / kg °C)	ρ(kg/m3)	a(m2/s)	ka23 (Cement)	ki12 (Coating)
265	6,325	2,09	60,22	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
266	6,325	2,09	60,41	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
267	6,325	2,09	60,60	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
268	6,325	2,09	60,79	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
269	6,325	2,09	60,98	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
270	6,325	2,09	61,17	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
271	6,325	2,09	61,36	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
272	6,325	2,09	61,55	1068,00	2044,00	9,6E-07	2	0,03
273	6,325	2,86	61,74	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
274	6,325	2,86	61,93	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
275	6,325	2,86	62,12	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
276	6,325	2,86	62,31	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
277	6,325	2,86	62,50	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
278	6,325	2,86	62,69	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
279	6,325	2,86	62,88	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
280	6,325	2,86	63,07	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
281	6,325	2,86	63,26	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
282	6,325	2,86	63,45	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
283	6,325	2,86	63,64	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
284	6,325	2,86	63,83	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
285	6,325	2,86	64,02	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
286	6,325	2,86	64,21	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
287	6,325	2,86	64,40	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
288	6,325	2,86	64,59	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
289	6,325	2,86	64,78	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
290	6,325	2,86	64,98	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
291	6,325	2,86	65,17	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
292	6,325	2,86	65,36	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
293	6,325	2,86	65,55	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
294	6,325	2,86	65,74	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
295	6,325	2,86	65,93	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
296	6,325	2,86	66,12	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
297	6,325	2,86	66,31	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
298	6,325	2,86	66,50	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
299	6,325	2,86	66,69	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
300	6,325	2,86	66,88	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
301	6,325	2,86	67,07	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
302	6,325	2,86	67,26	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
303	6,325	2,86	67,45	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
304	6,325	2,86	67,64	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
305	6,325	2,86	67,83	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
306	6,325	2,86	68,02	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
307	6,325	2,86	68,21	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
308	6,325	2,86	68,40	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03



Node	la(m)	ka34 (earth)	Tearth	Cp (J / kg °C)	ρ(kg/m3)	a(m2/s)	ka23 (Cement)	ki12 (Coating)
309	6,325	2,86	68,59	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
310	6,325	2,86	68,78	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
311	6,325	2,86	68,97	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
312	6,325	2,86	69,16	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
313	6,325	2,86	69,35	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
314	6,325	2,86	69,54	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
315	6,325	2,86	69,73	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
316	6,325	2,86	69,92	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
317	6,325	2,86	70,11	1031,00	2111,00	1,3E-06	2	0,03
318	6,325	3,01	70,30	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
319	6,325	3,01	70,49	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
320	6,325	3,01	70,68	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
321	6,325	3,01	70,87	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
322	6,325	3,01	71,06	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
323	6,325	3,01	71,25	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
324	6,325	3,01	71,44	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
325	6,325	3,01	71,63	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
326	6,325	3,01	71,82	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
327	6,325	3,01	72,01	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
328	6,325	3,01	72,20	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
329	6,325	3,01	72,39	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
330	6,325	3,01	72,58	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
331	6,325	3,01	72,77	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
332	6,325	3,01	72,96	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
333	6,325	3,01	73,15	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
334	6,325	3,01	73,35	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
335	6,325	3,01	73,54	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
336	6,325	3,01	73,73	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
337	6,325	3,01	73,92	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
338	6,325	3,01	74,11	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
339	6,325	3,01	74,30	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
340	6,325	3,01	74,49	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
341	6,325	3,01	74,68	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
342	6,325	3,01	74,87	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
343	6,325	3,01	75,06	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
344	6,325	3,01	75,25	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
345	6,325	3,01	75,44	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
346	6,325	3,01	75,63	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
347	6,325	3,01	75,82	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
348	6,325	3,01	76,01	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
349	6,325	3,01	76,20	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
350	6,325	3,01	76,39	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
351	6,325	3,01	76,58	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
352	6,325	3,01	76,77	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03



Node	la(m)	ka34 (earth)	Tearth	Cp (J / kg °C)	ρ(kg/m ³)	a(m ² /s)	ka23 (Cement)	ki12 (Coating)
353	6,325	3,01	76,96	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
354	6,325	3,01	77,15	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
355	6,325	3,01	77,34	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
356	6,325	3,01	77,53	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
357	6,325	3,01	77,72	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
358	6,325	3,01	77,91	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
359	6,325	3,01	78,10	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
360	6,325	3,01	78,29	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
361	6,325	3,01	78,48	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
362	6,325	3,01	78,67	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
363	6,325	3,01	78,86	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
364	6,325	3,01	79,05	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
365	6,325	3,01	79,24	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
366	6,325	3,01	79,43	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
367	6,325	3,01	79,62	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
368	6,325	3,01	79,81	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
369	6,325	3,01	80,00	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
370	6,325	3,01	80,19	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
371	6,325	3,01	80,38	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
372	6,325	3,01	80,57	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
373	6,325	3,01	80,76	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
374	6,325	3,01	80,95	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
375	6,325	3,01	81,14	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
376	6,325	3,01	81,33	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
377	6,325	3,01	81,52	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
378	6,325	3,01	81,72	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
379	6,325	3,01	81,91	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
380	6,325	3,01	82,10	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
381	6,325	3,01	82,29	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
382	6,325	3,01	82,48	994,00	2375,00	1,3E-06	2	0,03
383	6,325	3,03	82,67	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
384	6,325	3,03	82,86	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
385	6,325	3,03	83,05	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
386	6,325	3,03	83,24	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
387	6,325	3,03	83,43	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
388	6,325	3,03	83,62	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
389	6,325	3,03	83,81	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
390	6,325	3,03	84,00	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
391	6,325	3,03	84,19	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
392	6,325	3,03	84,38	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
393	6,325	3,03	84,57	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
394	6,325	3,03	84,76	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
395	6,325	3,03	84,95	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
396	6,325	3,03	85,14	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03



Node	la(m)	ka34 (earth)	Tearth	Cp (J / kg °C)	ρ (kg/m ³)	a(m ² /s)	ka23 (Cement)	ki12 (Coating)
397	6,325	3,03	85,33	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
398	6,325	3,03	85,52	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
399	6,325	3,03	85,71	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03
400	6,325	3,03	85,90	954,00	2524,00	1,3E-06	2	0,03



Twai	Twao	Twio	Twii	Heat Flux from earth(W/m ²)
30,000	29,969	45,226	45,231	-64,517
29,969	29,939	45,231	45,237	-64,025
29,939	29,909	45,237	45,242	-63,372
29,909	29,879	45,242	45,248	-62,675
29,879	29,850	45,248	45,253	-61,969
29,850	29,821	45,253	45,258	-61,264
29,821	29,792	45,258	45,264	-60,559
29,792	29,764	45,264	45,269	-59,856
29,764	29,737	45,269	45,275	-59,154
29,737	29,710	45,275	45,280	-58,453
29,710	29,683	45,280	45,286	-57,754
29,683	29,656	45,286	45,291	-57,056
29,656	29,630	45,291	45,297	-56,358
29,630	29,605	45,297	45,302	-55,663
29,605	29,579	45,302	45,308	-54,968
29,579	29,555	45,308	45,313	-54,275
29,555	29,530	45,313	45,319	-53,582
29,530	29,506	45,319	45,325	-52,891
29,506	29,482	45,325	45,330	-52,202
29,482	29,459	45,330	45,336	-51,513
29,459	29,436	45,336	45,341	-50,826
29,436	29,414	45,341	45,347	-50,139
29,414	29,392	45,347	45,353	-49,454
29,392	29,370	45,353	45,358	-48,771
29,370	29,349	45,358	45,364	-48,088
29,349	29,328	45,364	45,370	-47,407
29,328	29,307	45,370	45,375	-46,727
29,307	29,287	45,375	45,381	-46,047
29,287	29,268	45,381	45,387	-45,370
29,268	29,248	45,387	45,392	-44,693
29,248	29,229	45,392	45,398	-44,018
29,229	29,211	45,398	45,404	-43,343
29,211	29,193	45,404	45,409	-42,670
29,193	29,175	45,409	45,415	-41,998
29,175	29,157	45,415	45,421	-41,327
29,157	29,140	45,421	45,427	-40,658
29,140	29,124	45,427	45,432	-39,989
29,124	29,108	45,432	45,438	-39,322
29,108	29,092	45,438	45,444	-38,656
29,092	29,076	45,444	45,450	-37,991
29,076	29,061	45,450	45,455	-37,327
29,061	29,046	45,455	45,461	-36,665
29,046	29,032	45,461	45,467	-36,003
29,032	29,018	45,467	45,473	-35,343
29,018	29,004	45,473	45,479	-34,684



Twai	Twao	Twio	Twii	Heat Flux from earth(W/m ²)
29,004	28,991	45,479	45,484	-34,026
28,991	28,978	45,484	45,490	-33,369
28,978	28,966	45,490	45,496	-32,713
28,966	28,954	45,496	45,502	-32,058
28,954	28,942	45,502	45,508	-31,405
28,942	28,931	45,508	45,514	-30,753
28,931	28,920	45,514	45,519	-30,101
28,920	28,909	45,519	45,525	-29,451
28,909	28,899	45,525	45,531	-28,802
28,899	28,889	45,531	45,537	-28,155
28,889	28,879	45,537	45,543	-27,508
28,879	28,870	45,543	45,549	-26,862
28,870	28,861	45,549	45,555	-26,218
28,861	28,853	45,555	45,561	-25,575
28,853	28,845	45,561	45,566	-24,932
28,845	28,837	45,566	45,572	-24,291
28,837	28,830	45,572	45,578	-23,651
28,830	28,823	45,578	45,584	-23,013
28,823	28,816	45,584	45,590	-22,375
28,816	28,810	45,590	45,596	-21,738
28,810	28,804	45,596	45,602	-21,103
28,804	28,799	45,602	45,608	-20,468
28,799	28,793	45,608	45,614	-19,835
28,793	28,789	45,614	45,620	-19,202
28,789	28,784	45,620	45,626	-18,571
28,784	28,780	45,626	45,632	-17,941
28,780	28,776	45,632	45,638	-17,312
28,776	28,773	45,638	45,644	-16,684
28,773	28,770	45,644	45,649	-16,058
28,770	28,767	45,649	45,655	-15,432
28,767	28,765	45,655	45,661	-14,807
28,765	28,763	45,661	45,667	-14,184
28,763	28,761	45,667	45,673	-13,561
28,761	28,760	45,673	45,679	-12,940
28,760	28,759	45,679	45,685	-12,319
28,759	28,758	45,685	45,691	-11,700
28,758	28,758	45,691	45,697	-11,082
28,758	28,758	45,697	45,703	-10,465
28,758	28,759	45,703	45,709	-9,849
28,759	28,760	45,709	45,715	-9,234
28,760	28,761	45,715	45,721	-8,620
28,761	28,762	45,721	45,727	-8,007
28,762	28,764	45,727	45,733	-7,395
28,764	28,766	45,733	45,739	-6,784
28,766	28,769	45,739	45,745	-6,175



Twai	Twao	Twio	Twii	Heat Flux from earth(W/m ²)
28,769	28,772	45,745	45,751	-5,566
28,772	28,775	45,751	45,757	-4,958
28,775	28,778	45,757	45,763	-4,352
28,778	28,782	45,763	45,769	-3,746
28,782	28,787	45,769	45,775	-3,142
28,787	28,791	45,775	45,781	-2,538
28,791	28,796	45,781	45,787	-1,936
28,796	28,801	45,787	45,793	-1,335
28,801	28,807	45,793	45,799	-0,734
28,807	28,813	45,799	45,805	-0,135
28,813	28,819	45,805	45,811	0,463
28,819	28,826	45,811	45,817	1,060
28,826	28,833	45,817	45,823	1,657
28,833	28,840	45,823	45,829	2,252
28,840	28,847	45,829	45,835	2,846
28,847	28,855	45,835	45,841	3,439
28,855	28,864	45,841	45,847	4,031
28,864	28,872	45,847	45,853	4,622
28,872	28,881	45,853	45,859	5,212
28,881	28,890	45,859	45,865	5,802
28,890	28,900	45,865	45,871	6,390
28,900	28,910	45,871	45,877	6,977
28,910	28,920	45,877	45,883	7,563
28,920	28,930	45,883	45,889	8,148
28,930	28,941	45,889	45,895	8,732
28,941	28,953	45,895	45,901	9,315
28,953	28,964	45,901	45,907	9,897
28,964	28,976	45,907	45,913	10,478
28,976	28,988	45,913	45,919	11,058
28,988	29,001	45,919	45,925	11,637
29,001	29,013	45,925	45,931	12,215
29,013	29,026	45,931	45,937	12,792
29,026	29,040	45,937	45,943	13,368
29,040	29,054	45,943	45,949	13,941
29,054	29,068	45,949	45,954	14,648
29,068	29,082	45,954	45,960	15,219
29,082	29,097	45,960	45,966	15,794
29,097	29,112	45,966	45,972	16,370
29,112	29,128	45,972	45,978	16,944
29,128	29,143	45,978	45,984	17,518
29,143	29,159	45,984	45,990	18,091
29,159	29,176	45,990	45,996	18,663
29,176	29,193	45,996	46,002	19,234
29,193	29,210	46,002	46,008	19,803
29,210	29,227	46,008	46,014	20,372



Twai	Twao	Twio	Twii	Heat Flux from earth(W/m ²)
29,227	29,245	46,014	46,020	20,940
29,245	29,262	46,020	46,026	21,507
29,262	29,281	46,026	46,032	22,073
29,281	29,299	46,032	46,038	22,638
29,299	29,318	46,038	46,043	23,202
29,318	29,337	46,043	46,049	23,765
29,337	29,357	46,049	46,055	24,327
29,357	29,377	46,055	46,061	24,888
29,377	29,397	46,061	46,067	25,448
29,397	29,417	46,067	46,073	26,007
29,417	29,438	46,073	46,079	26,565
29,438	29,459	46,079	46,085	27,122
29,459	29,480	46,085	46,090	27,679
29,480	29,502	46,090	46,096	28,234
29,502	29,524	46,096	46,102	28,788
29,524	29,546	46,102	46,108	29,342
29,546	29,569	46,108	46,114	29,894
29,569	29,592	46,114	46,120	30,446
29,592	29,615	46,120	46,126	30,996
29,615	29,639	46,126	46,131	31,546
29,639	29,662	46,131	46,137	32,095
29,662	29,686	46,137	46,143	32,642
29,686	29,711	46,143	46,149	33,189
29,711	29,735	46,149	46,155	33,735
29,735	29,760	46,155	46,160	34,280
29,760	29,786	46,160	46,166	34,824
29,786	29,811	46,166	46,172	35,367
29,811	29,837	46,172	46,178	35,909
29,837	29,863	46,178	46,183	36,451
29,863	29,890	46,183	46,189	36,991
29,890	29,917	46,189	46,195	37,530
29,917	29,944	46,195	46,201	38,069
29,944	29,971	46,201	46,206	38,606
29,971	29,999	46,206	46,212	39,143
29,999	30,026	46,212	46,218	39,679
30,026	30,055	46,218	46,224	40,214
30,055	30,083	46,224	46,229	40,748
30,083	30,112	46,229	46,235	41,281
30,112	30,141	46,235	46,241	41,813
30,141	30,170	46,241	46,246	42,344
30,170	30,200	46,246	46,252	42,874
30,200	30,230	46,252	46,258	43,404
30,230	30,260	46,258	46,263	43,932
30,260	30,291	46,263	46,269	44,460
30,291	30,322	46,269	46,275	44,986



Twai	Twao	Twio	Twii	Heat Flux from earth(W/m ²)
30,322	30,353	46,275	46,280	45,512
30,353	30,384	46,280	46,286	46,037
30,384	30,416	46,286	46,291	46,561
30,416	30,448	46,291	46,297	47,084
30,448	30,480	46,297	46,303	47,606
30,480	30,513	46,303	46,308	48,128
30,513	30,545	46,308	46,314	48,648
30,545	30,578	46,314	46,319	49,168
30,578	30,612	46,319	46,325	49,687
30,612	30,645	46,325	46,330	50,204
30,645	30,679	46,330	46,336	50,721
30,679	30,714	46,336	46,341	51,237
30,714	30,748	46,341	46,347	51,752
30,748	30,783	46,347	46,352	52,264
30,783	30,818	46,352	46,358	52,755
30,818	30,853	46,358	46,363	53,174
30,853	30,893	46,363	46,369	61,728
30,893	30,933	46,369	46,374	62,125
30,933	30,974	46,374	46,380	62,647
30,974	31,015	46,380	46,385	63,205
31,015	31,056	46,385	46,391	63,768
31,056	31,097	46,391	46,396	64,332
31,097	31,139	46,396	46,401	64,895
31,139	31,181	46,401	46,407	65,456
31,181	31,223	46,407	46,412	66,017
31,223	31,266	46,412	46,417	66,576
31,266	31,309	46,417	46,423	67,135
31,309	31,352	46,423	46,428	67,692
31,352	31,396	46,428	46,433	68,248
31,396	31,439	46,433	46,439	68,803
31,439	31,484	46,439	46,444	69,357
31,484	31,528	46,444	46,449	69,910
31,528	31,573	46,449	46,455	70,462
31,573	31,618	46,455	46,460	71,013
31,618	31,663	46,460	46,465	71,563
31,663	31,709	46,465	46,470	72,112
31,709	31,754	46,470	46,475	72,659
31,754	31,801	46,475	46,481	73,206
31,801	31,847	46,481	46,486	73,752
31,847	31,894	46,486	46,491	74,296
31,894	31,941	46,491	46,496	74,840
31,941	31,988	46,496	46,501	75,382
31,988	32,036	46,501	46,506	75,924
32,036	32,084	46,506	46,511	76,464
32,084	32,132	46,511	46,516	77,003



Twai	Twao	Twio	Twii	Heat Flux from earth(W/m ²)
32,132	32,180	46,516	46,522	77,542
32,180	32,229	46,522	46,527	78,079
32,229	32,278	46,527	46,532	78,615
32,278	32,327	46,532	46,537	79,150
32,327	32,377	46,537	46,542	79,684
32,377	32,427	46,542	46,547	80,218
32,427	32,477	46,547	46,552	80,750
32,477	32,528	46,552	46,557	81,281
32,528	32,578	46,557	46,562	81,811
32,578	32,629	46,562	46,566	82,340
32,629	32,681	46,566	46,571	82,868
32,681	32,732	46,571	46,576	83,395
32,732	32,784	46,576	46,581	83,921
32,784	32,836	46,581	46,586	84,446
32,836	32,889	46,586	46,591	84,970
32,889	32,941	46,591	46,596	85,493
32,941	32,994	46,596	46,600	86,015
32,994	33,048	46,600	46,605	86,536
33,048	33,101	46,605	46,610	87,057
33,101	33,155	46,610	46,615	87,576
33,155	33,209	46,615	46,620	88,094
33,209	33,263	46,620	46,624	88,611
33,263	33,318	46,624	46,629	89,127
33,318	33,373	46,629	46,634	89,642
33,373	33,428	46,634	46,638	90,156
33,428	33,483	46,638	46,643	90,669
33,483	33,539	46,643	46,648	91,181
33,539	33,595	46,648	46,652	91,693
33,595	33,651	46,652	46,657	92,203
33,651	33,708	46,657	46,661	92,712
33,708	33,764	46,661	46,666	93,220
33,764	33,821	46,666	46,670	93,728
33,821	33,879	46,670	46,675	94,234
33,879	33,936	46,675	46,679	94,740
33,936	33,994	46,679	46,684	95,244
33,994	34,052	46,684	46,688	95,748
34,052	34,110	46,688	46,693	96,250
34,110	34,169	46,693	46,697	96,752
34,169	34,228	46,697	46,702	97,252
34,228	34,287	46,702	46,706	97,752
34,287	34,346	46,706	46,710	98,251
34,346	34,406	46,710	46,715	98,749
34,406	34,466	46,715	46,719	99,245
34,466	34,526	46,719	46,723	99,738
34,526	34,586	46,723	46,728	100,213



Twai	Twao	Twio	Twii	Heat Flux from earth(W/m ²)
34,586	34,647	46,728	46,732	100,586
34,647	34,708	46,732	46,736	100,681
34,708	34,785	46,736	46,741	131,148
34,785	34,863	46,741	46,745	131,071
34,863	34,941	46,745	46,749	131,593
34,941	35,019	46,749	46,753	131,941
35,019	35,097	46,753	46,757	132,554
35,097	35,176	46,757	46,761	133,102
35,176	35,255	46,761	46,765	133,652
35,255	35,334	46,765	46,769	134,190
35,334	35,413	46,769	46,773	134,728
35,413	35,493	46,773	46,777	135,271
35,493	35,573	46,777	46,781	135,816
35,573	35,653	46,781	46,785	136,361
35,653	35,734	46,785	46,789	136,902
35,734	35,815	46,789	46,793	137,441
35,815	35,896	46,793	46,797	137,975
35,896	35,977	46,797	46,801	138,508
35,977	36,059	46,801	46,805	139,041
36,059	36,141	46,805	46,808	139,573
36,141	36,223	46,808	46,812	140,105
36,223	36,305	46,812	46,816	140,638
36,305	36,388	46,816	46,820	141,168
36,388	36,471	46,820	46,823	141,698
36,471	36,554	46,823	46,827	142,225
36,554	36,638	46,827	46,830	142,749
36,638	36,722	46,830	46,834	143,272
36,722	36,806	46,834	46,838	143,794
36,806	36,890	46,838	46,841	144,314
36,890	36,975	46,841	46,845	144,834
36,975	37,059	46,845	46,848	145,353
37,059	37,144	46,848	46,852	145,871
37,144	37,230	46,852	46,855	146,389
37,230	37,315	46,855	46,858	146,905
37,315	37,401	46,858	46,862	147,420
37,401	37,488	46,862	46,865	147,934
37,488	37,574	46,865	46,868	148,446
37,574	37,661	46,868	46,872	148,956
37,661	37,747	46,872	46,875	149,464
37,747	37,835	46,875	46,878	149,972
37,835	37,922	46,878	46,881	150,478
37,922	38,010	46,881	46,884	150,983
38,010	38,098	46,884	46,887	151,487
38,098	38,186	46,887	46,891	151,992
38,186	38,274	46,891	46,894	152,505



Twai	Twao	Twio	Twii	Heat Flux from earth(W/m ²)
38,274	38,363	46,894	46,897	153,053
38,363	38,452	46,897	46,900	153,781
38,452	38,546	46,900	46,903	161,733
38,546	38,639	46,903	46,905	162,391
38,639	38,734	46,905	46,908	162,918
38,734	38,828	46,908	46,911	163,422
38,828	38,923	46,911	46,914	163,921
38,923	39,017	46,914	46,917	164,417
39,017	39,112	46,917	46,920	164,912
39,112	39,208	46,920	46,922	165,406
39,208	39,303	46,922	46,925	165,898
39,303	39,399	46,925	46,928	166,390
39,399	39,495	46,928	46,930	166,880
39,495	39,592	46,930	46,933	167,369
39,592	39,688	46,933	46,936	167,857
39,688	39,785	46,936	46,938	168,343
39,785	39,882	46,938	46,941	168,829
39,882	39,979	46,941	46,943	169,313
39,979	40,077	46,943	46,946	169,796
40,077	40,174	46,946	46,948	170,278
40,174	40,272	46,948	46,950	170,758
40,272	40,371	46,950	46,953	171,238
40,371	40,469	46,953	46,955	171,716
40,469	40,568	46,955	46,957	172,193
40,568	40,667	46,957	46,959	172,669
40,667	40,766	46,959	46,962	173,144
40,766	40,865	46,962	46,964	173,617
40,865	40,965	46,964	46,966	174,090
40,965	41,065	46,966	46,968	174,561
41,065	41,165	46,968	46,970	175,031
41,165	41,265	46,970	46,972	175,500
41,265	41,365	46,972	46,974	175,968
41,365	41,466	46,974	46,976	176,435
41,466	41,567	46,976	46,978	176,900
41,567	41,668	46,978	46,980	177,365
41,668	41,770	46,980	46,982	177,828
41,770	41,871	46,982	46,984	178,290
41,871	41,973	46,984	46,985	178,751
41,973	42,075	46,985	46,987	179,211
42,075	42,178	46,987	46,989	179,670
42,178	42,280	46,989	46,991	180,128
42,280	42,383	46,991	46,992	180,584
42,383	42,486	46,992	46,994	181,040
42,486	42,589	46,994	46,995	181,494
42,589	42,692	46,995	46,997	181,947



Twai	Twao	Twio	Twii	Heat Flux from earth(W/m ²)
42,692	42,796	46,997	46,998	182,400
42,796	42,900	46,998	47,000	182,851
42,900	43,004	47,000	47,001	183,301
43,004	43,108	47,001	47,003	183,750
43,108	43,213	47,003	47,004	184,198
43,213	43,317	47,004	47,005	184,644
43,317	43,422	47,005	47,007	185,090
43,422	43,527	47,007	47,008	185,535
43,527	43,633	47,008	47,009	185,978
43,633	43,738	47,009	47,010	186,421
43,738	43,844	47,010	47,011	186,862
43,844	43,950	47,011	47,013	187,302
43,950	44,056	47,013	47,014	187,742
44,056	44,162	47,014	47,015	188,180
44,162	44,269	47,015	47,016	188,617
44,269	44,376	47,016	47,017	189,053
44,376	44,483	47,017	47,017	189,488
44,483	44,590	47,017	47,018	189,923
44,590	44,697	47,018	47,019	190,356
44,697	44,805	47,019	47,020	190,792
44,805	44,913	47,020	47,021	191,240



Time	Time	Temp.	Q
s	hr	°C	kW
200000	56	74,8	495
400000	111	66,0	398
600000	167	60,0	331
800000	222	55,8	285
1000000	278	53,1	255
1200000	333	51,6	238
1400000	389	51,3	235
1600000	444	51,6	239
1800000	500	51,7	240
2000000	556	51,2	234
2200000	611	50,6	228
2400000	667	50,5	226
2600000	722	50,4	226
2800000	778	50,2	223
3000000	833	49,9	220
3200000	889	49,8	219
3400000	944	49,7	217
3600000	1000	49,5	215
3800000	1056	49,4	214
4000000	1111	49,3	213
4200000	1167	49,1	211
4400000	1222	49,0	210
4600000	1278	48,9	209
4800000	1333	48,8	208
5000000	1389	48,7	207
5200000	1444	48,6	206
5400000	1500	48,5	205
5600000	1556	48,4	204
5800000	1611	48,4	203
6000000	1667	48,3	202
6200000	1722	48,2	201
6400000	1778	48,2	200
6600000	1833	48,1	200
6800000	1889	48,0	199
7000000	1944	48,0	198
7200000	2000	47,9	198
7400000	2056	47,8	197
7600000	2111	47,8	196
7800000	2167	47,7	196
8000000	2222	47,7	195
8200000	2278	47,6	195
8400000	2333	47,6	194
8600000	2389	47,5	194
8800000	2444	47,5	193



Time	Time	Temp.	Q
s	hr	°C	kW
9000000	2500	47,4	193
9200000	2556	47,4	192
9400000	2611	47,3	192
9600000	2667	47,3	191
9800000	2722	47,3	191
10000000	2778	47,2	190
10200000	2833	47,2	190
10400000	2889	47,1	189
10600000	2944	47,1	189
10800000	3000	47,1	189
11000000	3056	47,0	188
11200000	3111	47,0	188
11400000	3167	47,0	187
11600000	3222	46,9	187
11800000	3278	46,9	187
12000000	3333	46,9	186
12200000	3389	46,8	186
12400000	3444	46,8	186
12600000	3500	46,8	185
12800000	3556	46,8	185
13000000	3611	46,7	185
13200000	3667	46,7	184
13400000	3722	46,7	184
13600000	3778	46,6	184
13800000	3833	46,6	183
14000000	3889	46,6	183
14200000	3944	46,6	183
14400000	4000	46,5	183
14600000	4056	46,5	182
14800000	4111	46,5	182
15000000	4167	46,5	182
15200000	4222	46,4	182
15400000	4278	46,4	181
15600000	4333	46,4	181
15800000	4389	46,4	181
16000000	4444	46,3	181
16200000	4500	46,3	180
16400000	4556	46,3	180
16600000	4611	46,3	180
16800000	4667	46,3	180
17000000	4722	46,2	179
17200000	4778	46,2	179
17400000	4833	46,2	179
17600000	4889	46,2	179

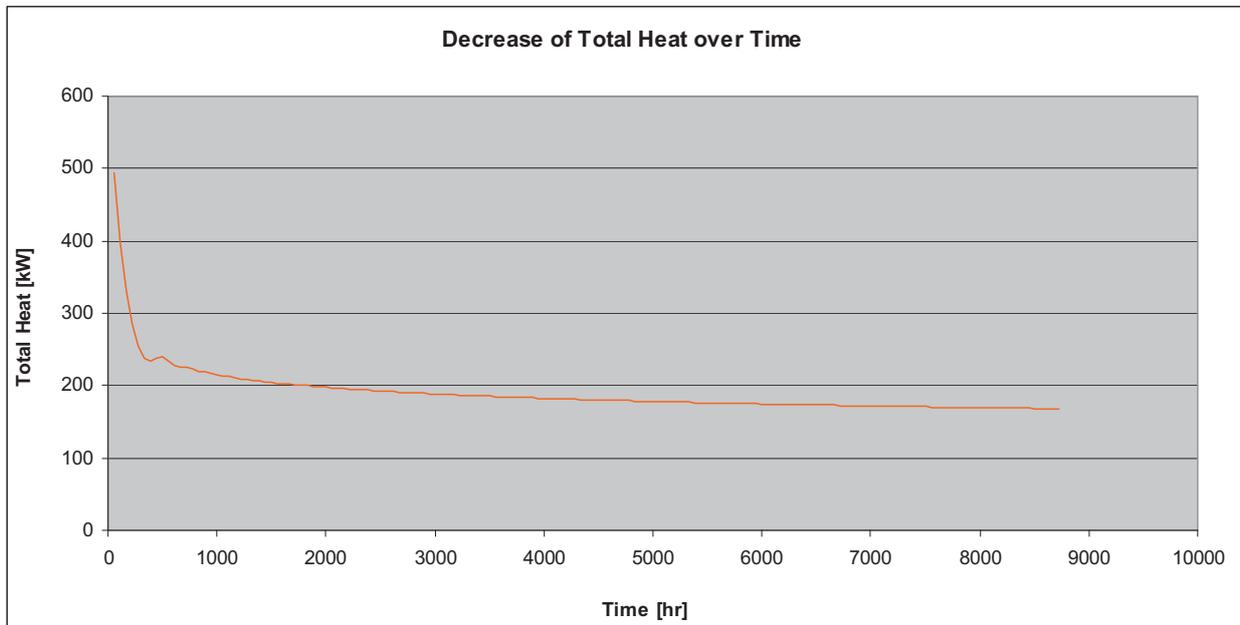
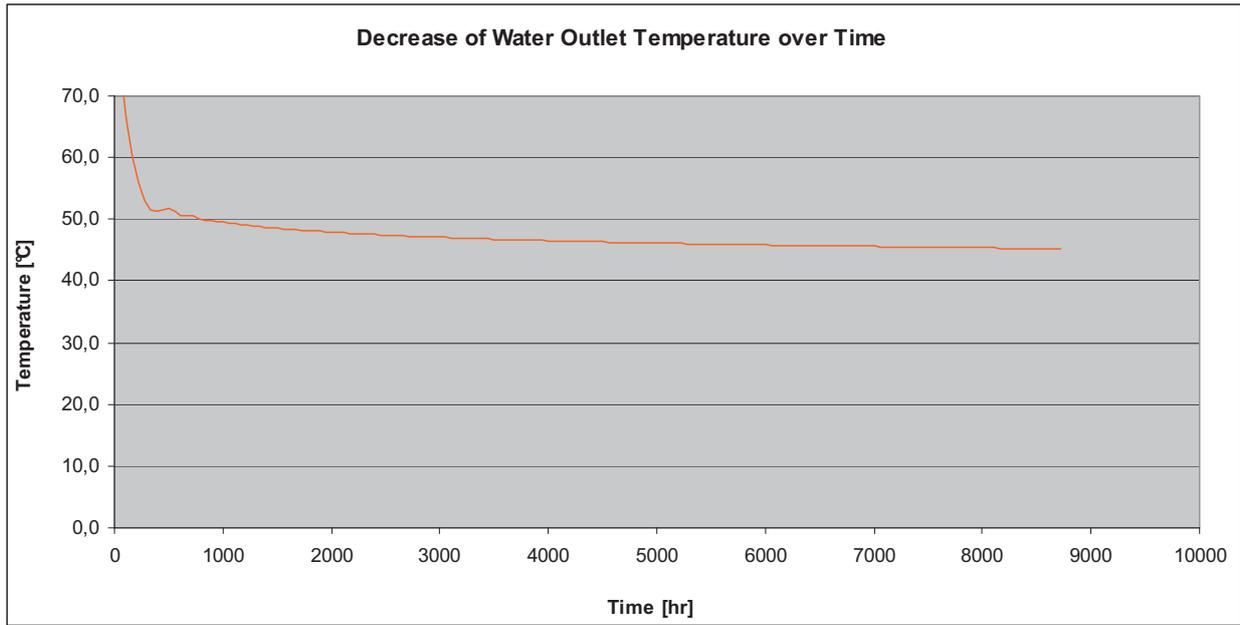


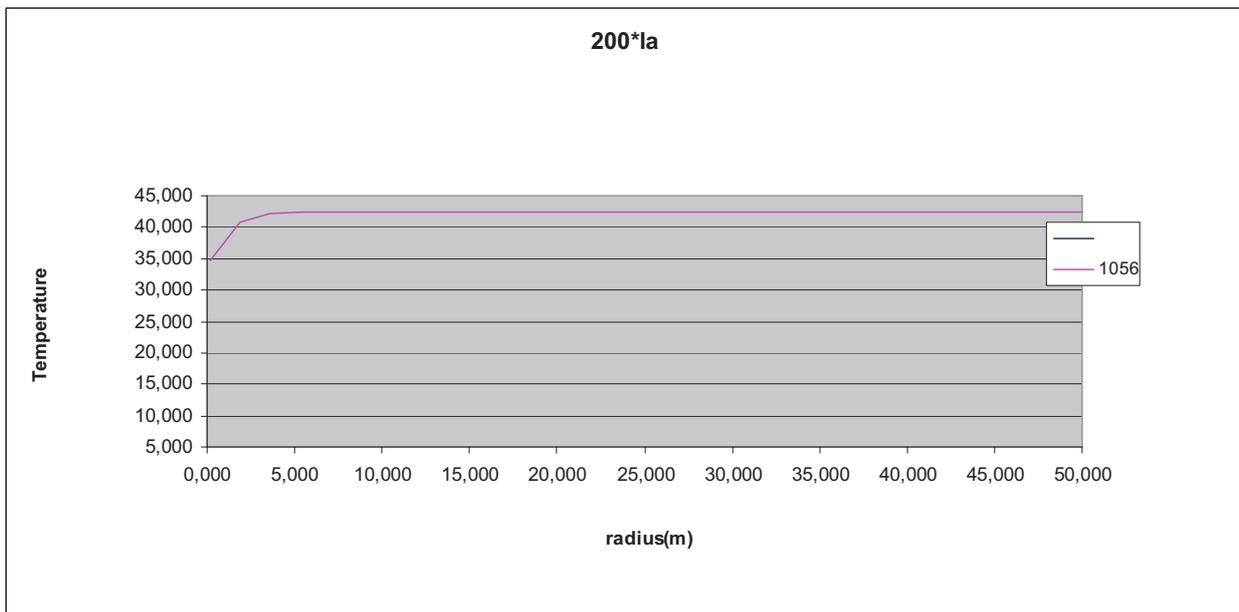
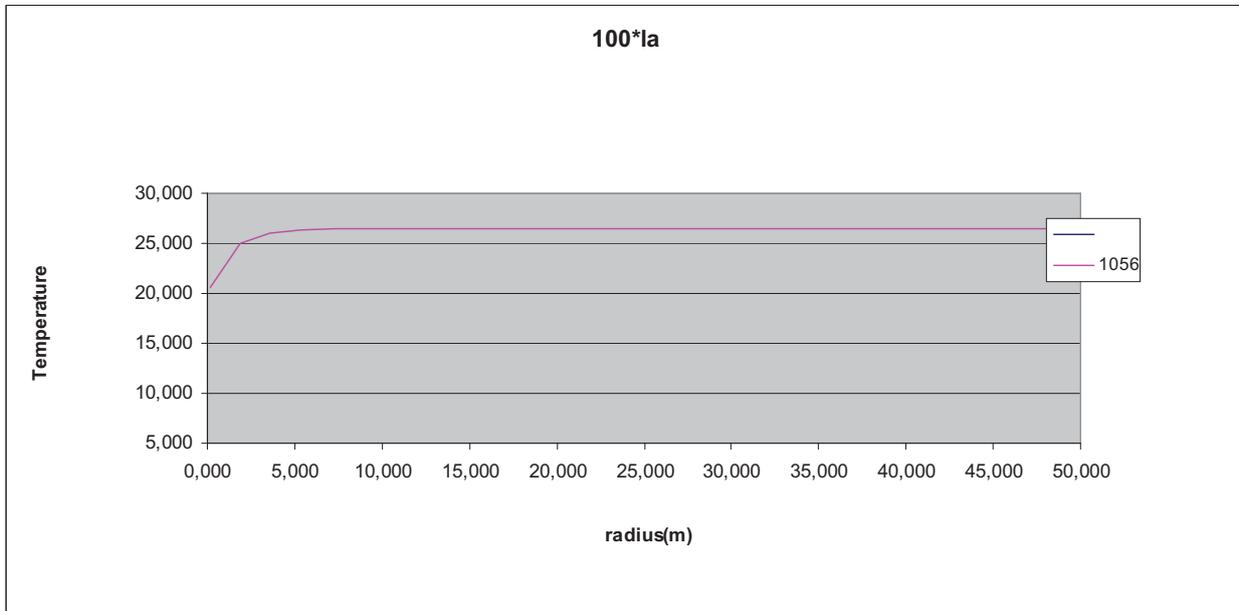
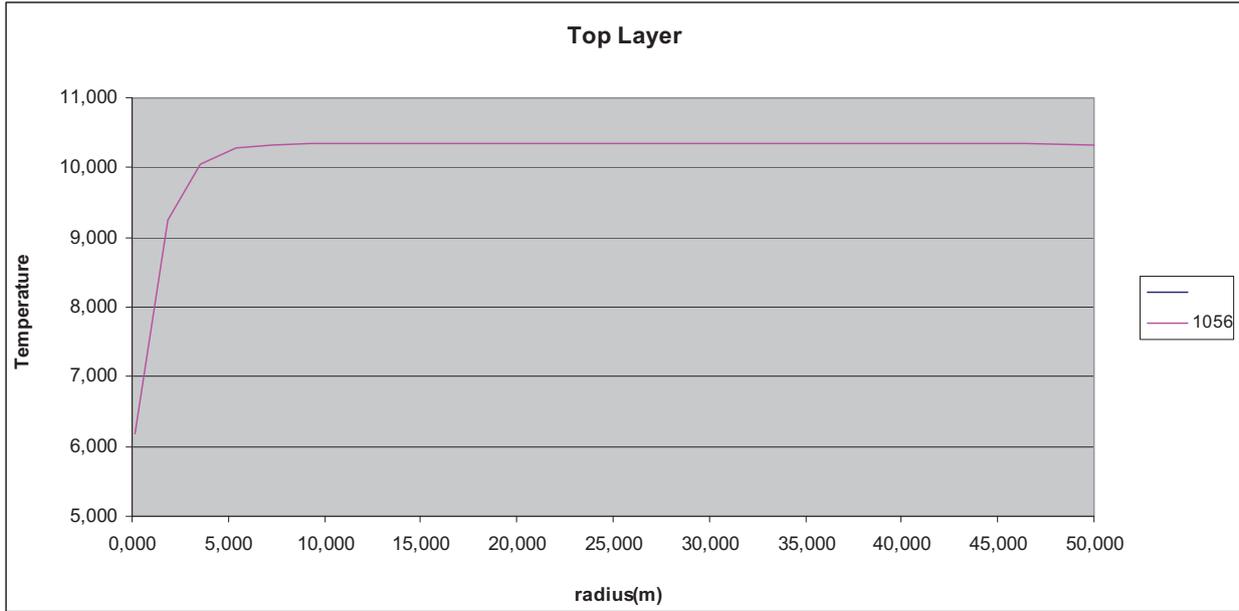
Time	Time	Temp.	Q
s	hr	°C	kW
17800000	4944	46,2	178
18000000	5000	46,1	178
18200000	5056	46,1	178
18400000	5111	46,1	178
18600000	5167	46,1	178
18800000	5222	46,1	177
19000000	5278	46,0	177
19200000	5333	46,0	177
19400000	5389	46,0	177
19600000	5444	46,0	177
19800000	5500	46,0	176
20000000	5556	46,0	176
20200000	5611	45,9	176
20400000	5667	45,9	176
20600000	5722	45,9	176
20800000	5778	45,9	175
21000000	5833	45,9	175
21200000	5889	45,9	175
21400000	5944	45,8	175
21600000	6000	45,8	175
21800000	6056	45,8	175
22000000	6111	45,8	174
22200000	6167	45,8	174
22400000	6222	45,8	174
22600000	6278	45,8	174
22800000	6333	45,7	174
23000000	6389	45,7	174
23200000	6444	45,7	173
23400000	6500	45,7	173
23600000	6556	45,7	173
23800000	6611	45,7	173
24000000	6667	45,7	173
24200000	6722	45,6	173
24400000	6778	45,6	173
24600000	6833	45,6	172
24800000	6889	45,6	172
25000000	6944	45,6	172
25200000	7000	45,6	172
25400000	7056	45,6	172
25600000	7111	45,5	172
25800000	7167	45,5	172
26000000	7222	45,5	171
26200000	7278	45,5	171
26400000	7333	45,5	171

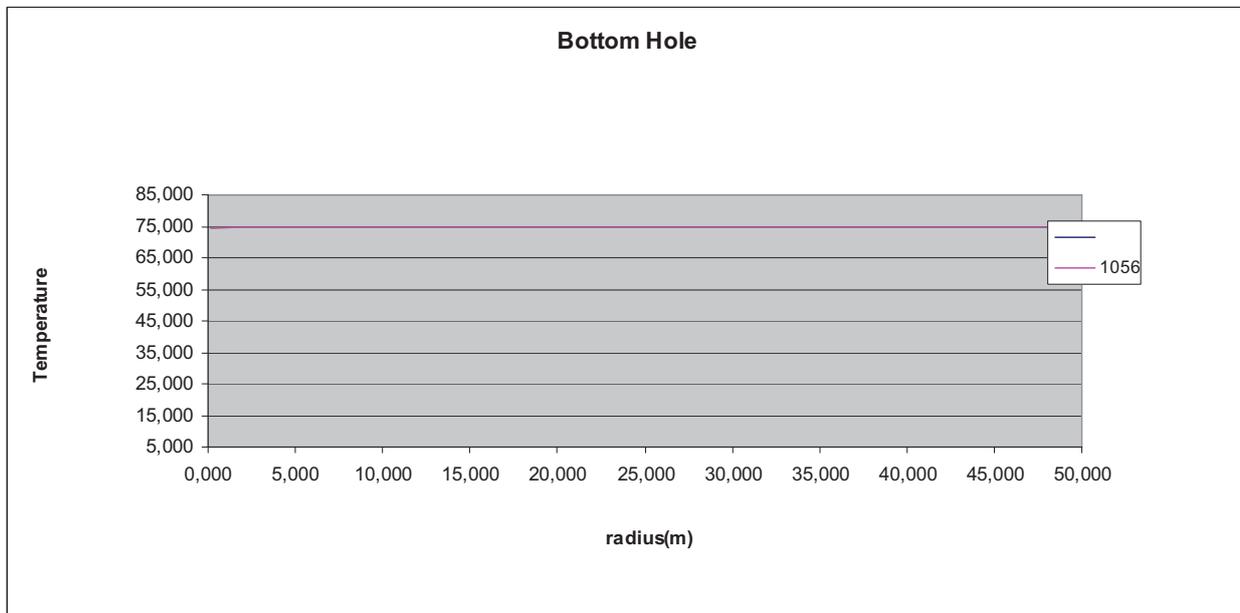
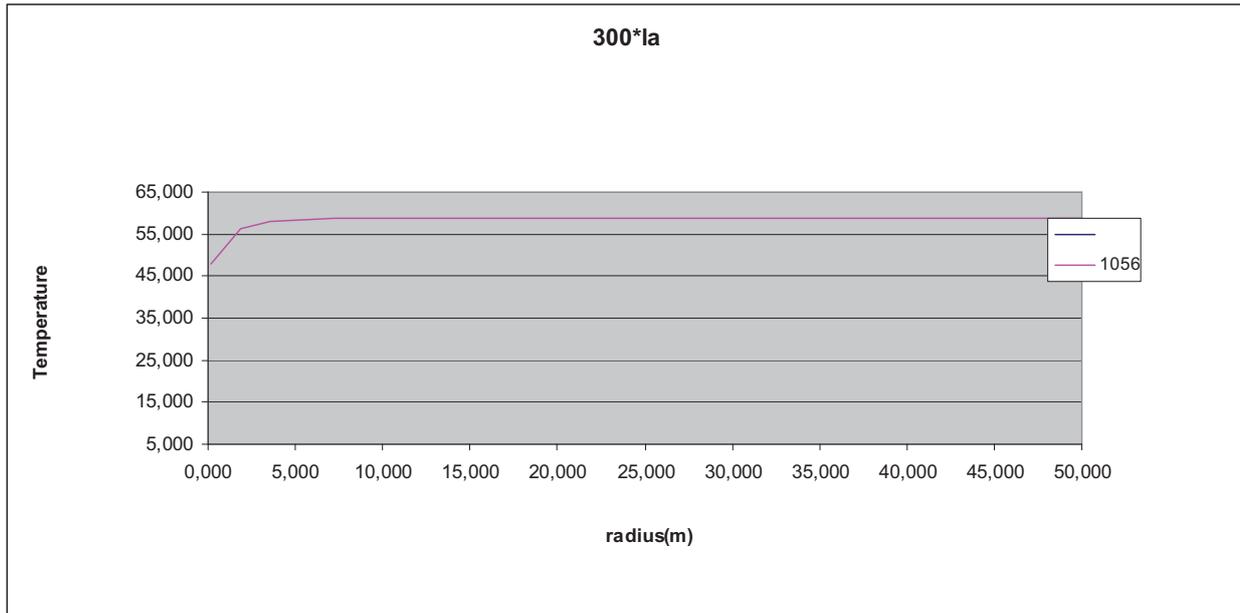


Time	Time	Temp.	Q
s	hr	°C	kW
26600000	7389	45,5	171
26800000	7444	45,5	171
27000000	7500	45,5	171
27200000	7556	45,5	171
27400000	7611	45,4	171
27600000	7667	45,4	170
27800000	7722	45,4	170
28000000	7778	45,4	170
28200000	7833	45,4	170
28400000	7889	45,4	170
28600000	7944	45,4	170
28800000	8000	45,4	170
29000000	8056	45,4	170
29200000	8111	45,3	169
29400000	8167	45,3	169
29600000	8222	45,3	169
29800000	8278	45,3	169
30000000	8333	45,3	169
30200000	8389	45,3	169
30400000	8444	45,3	169
30600000	8500	45,3	169
30800000	8556	45,3	168
31000000	8611	45,2	168
31200000	8667	45,2	168
31400000	8722	45,2	168









Anhang 6

Beschreibung Excel Tool



Um das Leistungspotential des Bohrloches abschätzen zu können, wurde von der Arge Geothermie unter der Federführung der OMV EP ein Excel Tool angefertigt. Das Programm greift auf die Programmiersprache Visual Basic zurück. Zusätzlich kam es noch zu Berechnungen im Programm Fluent und Matlab.

Betrachtet wurde eine zylindrische Gesteinsformation mit einer Breite von 100m und einer der Bohrlochtiefe entsprechenden Höhe des Zylinders. Folgende Abbildungen zeigen Auszüge aus den Simulationen.

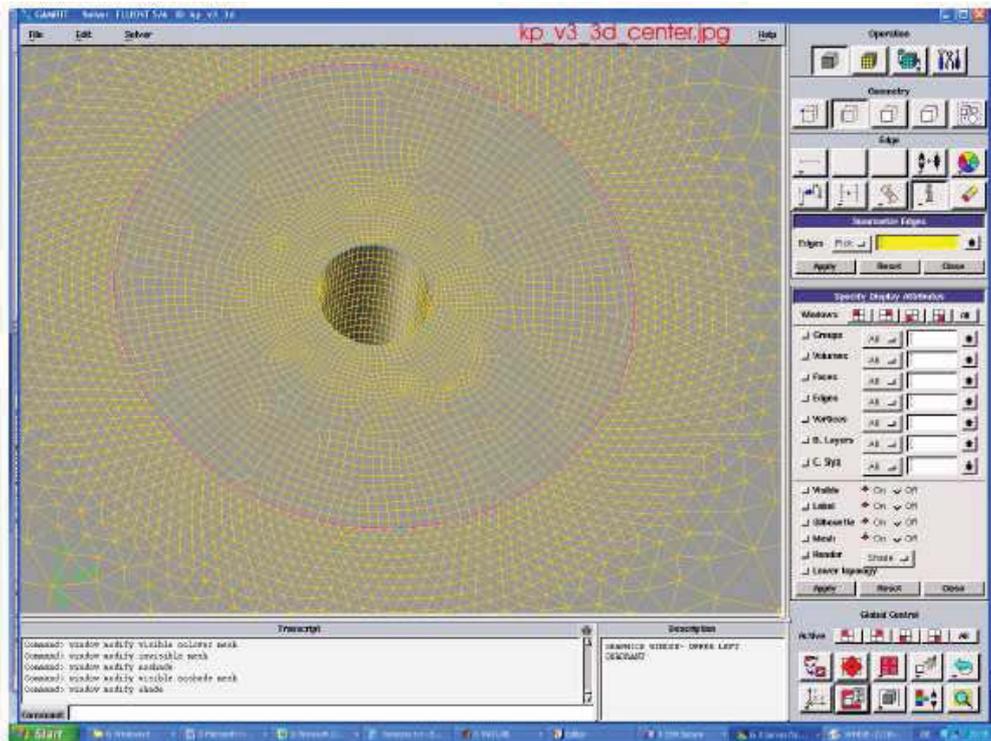


Abbildung: Darstellung des Betrachtungsraumes

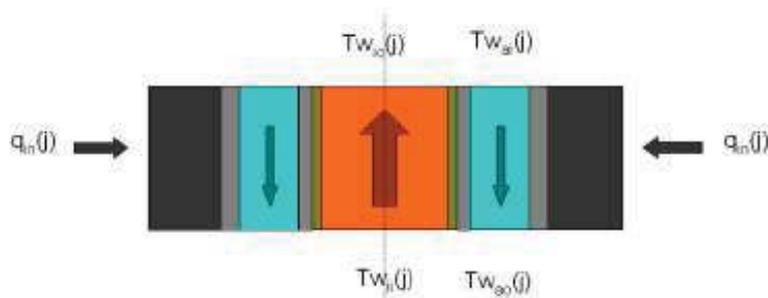


Abbildung: Wärmeaufgabe ans Heizmedium

Im Bohrloch kam es zum Einbau zweier Koaxialrohre. Zwischen dem Casing und der Außenwand des größeren Rohres wird das Heizmedium in die Tiefe gedrückt. Im Innenrohr gelangt es anschließend erwärmt wieder an die Oberfläche. Zwischen den beiden Rohren befindet sich eine Gasisolationsschicht.



Die Erwärmung erfolgt durch Wärmezufuhr aus den umliegenden Gesteinschichten des Bohrloches. Dargestellt wird dies in den Abbildungen. Die aus der Umgebung entzogene Wärme

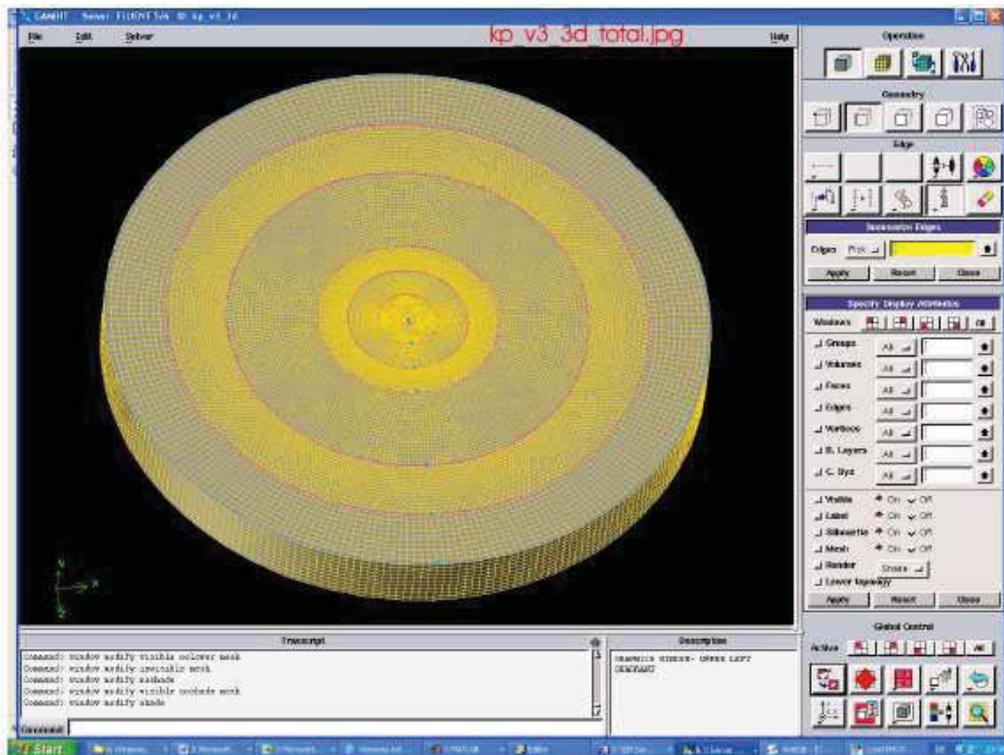


Abbildung: Betrachtungsraum als Scheibe

setzt sich dabei aus der dem Heizmedium im Ringspalt und der dem Heizmedium im Innenrohr zugeführten Wärme zusammen:

$$q_{in}(j) = m * c_p * (T_{w_{ao}}(j) - T_{w_{ai}}(j)) + m * c_p * (T_{w_{io}}(j) - T_{w_{ii}}(j))$$

Für das Programm gelten folgende Randbedingungen:

- Einlasstemperatur in den Ringspalt T_{wai} ist vorgegeben.
- Temperatur des Wassers im Ringspalt muss an der Endteufe gleich der Temperatur im Innenrohr sein: $T_{w_{ao}}(j_{max}) = T_{w_{ii}}(j_{max})$
- An der Endteufe herrscht eine konstante Temperatur.
- Das Temperaturprofil an der Außenfläche des Casings entspricht jenem der Erde

Der Zylinder kann nun gedanklich in Scheiben aufgeschnitten werden. Diese Scheiben werden abermals in Kontrollvolumina aufgeteilt. Jedes Kontrollvolumina besitzt nun ein



anderes Temperaturprofil. Hauptentscheidend für den Temperatur sind die Tiefe in der es sich befindet, und der Abstand vom Bohrlochmittelpunkt. Nun kommt abhängig von den Eingaben in jedem Kontrollvolumen zu einem Wärmefluss. Durch die analytische Betrachtung sämtlicher Wärmeflüsse kann als Resultat unter anderem auf die Temperatur des Heizmediums am Ausgang des Innenrohres geschlossen werden.

Für die Simulation sind folgende Wärmetechnischen Zusammenhänge entscheidend:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} A = Q = \alpha A (T - T_{\infty})$$

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + r \frac{\partial T}{\partial z} \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right) = \frac{r}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$

Das Ergebnis wurde neben der Darstellung in Zahlenwerten auch in Form von Diagrammen abgebildet. Es folgt eine Darstellung des Wärmeflusses über die Zeit:

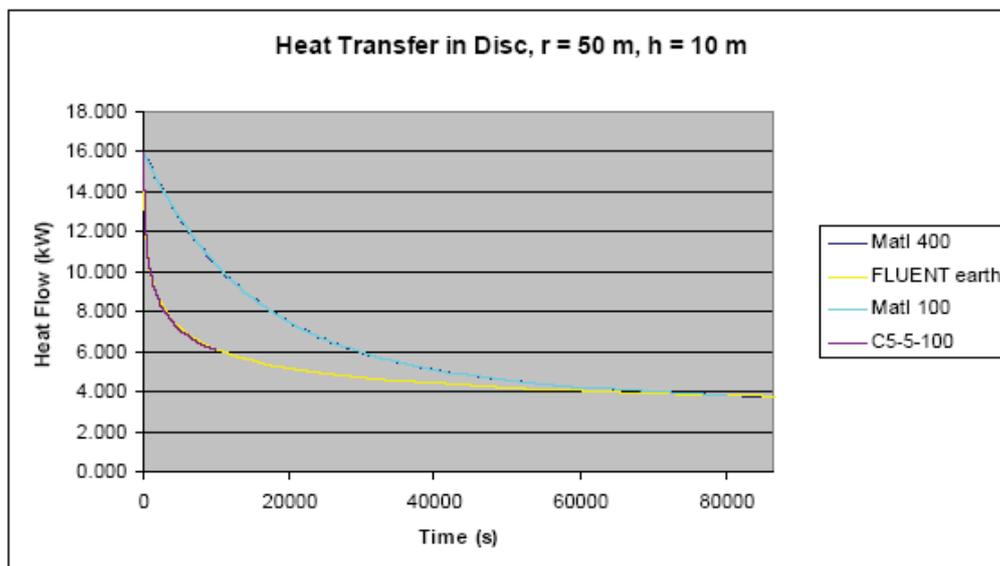


Abbildung: Wärmefluss über Zeit

Anhang 7 Tubingdurchmesser



(inches)	Wall Thickness (inches)																					
	0.003	0.005	0.008	0.012	0.014	0.018	0.020	0.022	0.025	0.028	0.035	0.038	0.042	0.049	0.058	0.065	0.078	0.083	0.095	0.109	0.125	
0.050																						
0.125																						
0.375																						
0.500																						
0.625																						
0.750																						
0.875																						
1.000																						
1.250																						
1.500																						
1.750																						
2.000																						
2.250																						
2.500																						
2.750																						
3.000																						
3.500																						
4.000																						
4.500																						
5.000																						
5.500																						
6.000																						
6.500																						
7.000																						
8.000																						
9.000																						
10.000																						
11.000																						
12.000																						

<http://www.veridiam.com/weldedtube.html> (Zugriff: 30. Juni 2009)

