



DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Erstellung von Temperaturkarten in verschiedenen Tiefen im
südlichen Wiener Becken

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer.nat.)

Verfasser: Fatime Zekiri
Matrikel-Nummer: 0209940
Studienrichtung: A 416 Geophysik
Betreuer: Ao. Univ. Prof. Dr. B. Meurers, Universität Wien

Wien, Mai 2011

Zusammenfassung

Der Anstieg des Verbrauches an fossilen Energieträgern und ihre limitierte Verfügbarkeit machen es notwendig sich mit alternativen Energieressourcen auseinanderzusetzen. Die ständige Verfügbarkeit der Erdwärme und die Tatsache, dass die Erdwärme nahezu unabhängig vom Standort ist und zu den nachhaltigen Energieformen zählt, zeigen, dass die Auseinandersetzung mit der Geothermie für die Zukunft von großer Bedeutung ist. In Österreich wird die Wärme aus dem Untergrund hauptsächlich für balneologische Zwecke verwendet, aber auch die Beheizung von Häusern und ganzen Gemeinden sowie die geothermale Stromgewinnung steigen stetig an.

Das Wiener Becken ist für die thermale Nutzung ein bedeutendes Gebiet, wobei die Hochscholle (westlich des Leopoldsdorfer Bruches) für balneologische Zwecke und die Mineralwassergewinnung verwendet wird und die Tiefscholle (östlich des Leopoldsdorfer Bruches) zur Energiegewinnung verwendet werden könnte. Das zentrale Wiener Becken ist bislang ungenutzt geblieben.

Ein Ziel des an der Geologischen Bundesanstalt laufenden und von der Österreichischen Akademie der Wissenschaften geförderten Projekts „THERMALP – Geothermie der Ostalpen“ ist, ein drei-dimensionales geothermisches Untergrundmodell für die Hoch- und Tiefscholle des südlichen Wiener Beckens zu erarbeiten. Da für dieses Gebiet bislang keine Temperaturkarten zur Verfügung standen, war dies der Ansatzpunkt der Diplomarbeit. Das Ziel der Diplomarbeit war es mit Hilfe von thermischen Daten, wie BHT-Werte (bottom hole temperature) oder Temperaturwerte aus hydraulischen Bohrlochtests (Drill Stem Tests - DST), aus den Kohlenwasserstoffbohrungen (KW-Bohrungen) der OMV AG das geothermische Regime in Form von Temperaturkarten in verschiedenen Tiefen darzustellen.

Die Grundlage für die Temperaturkarten stellen BHT- und DST-Werte sowie Temperaturlogs aus ausgewählten Bohrungen im Untersuchungsgebiet und die dazugehörigen geologischen und bohrtechnischen Berichte dar. Mit Ausnahme der Temperaturwerte aus den hydraulischen Formationstests, wurden die

thermischen Daten auf den Einfluss der Spülung korrigiert. Die Korrektur der BHT-Werte erfolgt mittels unterschiedlicher Verfahren (grafische und numerische Verfahren). Die Ergebnisse aus diesen Verfahren, die DST-Werte und die vorhanden Temperaturlogs wurden auf ihre Plausibilität überprüft. Die Generierung der Temperaturkarten erfolgt für alle Verfahren in 500 m-Schritten im Intervall zwischen 1000 m und 4000 m u. GOK.

Die Temperaturkarten, die aus den verschiedenen BHT-Korrekturen hervorgegangen sind, wurden miteinander verglichen, worauf die Interpretation der Ergebnisse nur für ein Verfahren erfolgte. Des Weiteren konnte die Interpretation der Temperaturkarten nicht bis in 4000 m u. GOK erfolgen, da ab einer gewissen Tiefe eine geringe Anzahl an korrigierten BHT-Daten vorhanden war und dadurch die Analyse kaum sinnvoll ist.

Schließlich sind in den Temperaturkarten das hydrostationäre System östlich des Leopoldsdorfer Bruches und das hydrodynamische System im Westen deutlich ersichtlich, die bereits durch Wessely (1983) dargestellt wurden. Im hydrostationären System sind kaum Strömungsvorgänge vorhanden, sodass die Temperaturverhältnisse relativ gleichmäßig sind und weniger thermische Anomalien auftreten. Der Temperaturverlauf westlich des Leopoldsdorfer Bruches (Hochscholle des Beckens und Beckenränder) ist aufgrund der starken Zirkulationssysteme sehr unterschiedlich, sodass positive und negative thermische Anomalien auftreten. Im Osten des Untersuchungsgebiets herrschen höhere Temperaturen, die auf den Einfluss des Pannonischen Beckens zurückzuführen sind.

Die gleichförmigen Temperaturen im zentralen Bereich des Wiener Beckens und der Tiefscholle bis in große Tiefen würden eine geothermische Nutzung in Form von Beheizung von Siedlungsgebieten und die geothermale Stromgewinnung befürworten.

Abstract

The increased usage of fossil fuels despite their limited availability calls for an in-depth look at alternative energy sources. The constant obtainability of geothermal energy and the fact that it is almost completely independent of location, while counting as a sustainable form of energy, confirm its essential role in future energy discussions. Austria uses geothermal energy predominately for balneology, yet the heating of houses or entire communities as well as geothermal power generation is continuously on the rise.

The Vienna Basin is an important region in terms of geothermal usage, where the raised fault block (west of the Leopoldsdorf fault) is used for balneological purposes and the extraction of mineral water, while the lower fault block (east of the Leopoldsdorf fault) could be used for the extraction of geothermal energy. The central Vienna Basin is thus far unused.

The aim of the project “THERMALP – Geothermal Energy in the Eastern Alps” at the Geological Survey of Austria (funded by the Austrian Academy of Sciences), is to develop a three-dimensional geothermal model of the subsurface underneath the raised and the lower fault blocks of the Southern Vienna Basin. Given that temperature maps were not available until now, this formed the starting point for the scientific work herein. The goal of this thesis was to describe the geothermal regime in the form of temperature maps at different depths using thermal data such as BHT-values (bottom hole temperature) or DST-values (drill stem tests) from hydraulic borehole tests during the hydrocarbon exploration of OMV AG.

The basis for this map is formed by BHT and DST values, as well as temperature logs from selected borehole locations in the investigated region and the corresponding geological and technical reports. Except for the temperature values from the hydraulic formation tests, all thermal data were corrected for the effect of the drilling fluid. The correction of the BHT values was performed via different methods (graphic and numerical approaches). The results of these procedures plus the DST values and the available temperature logs underwent plausibility tests.

Generating the temperature maps was done for all procedures at depths of 1000 m – 4000 m below surface at 500 m intervals.

The temperature maps produced from the various BHT corrections were compared to each other, so the interpretation of the results was only performed for one procedure at a time. Furthermore, the interpretation of the results could not be performed down to a max. depth of 4000 m, as only a limited number of corrected BHT values were available below a certain depth, therefore not permitting a useful analysis.

The temperature maps clearly show the hydro-stationary system east of the Leopoldsdorf fault and the hydro-dynamic system in the west, which were already shown by Wessely (1983). The hydro-stationary system shows no currents or water movements, giving smooth temperature conditions with very few anomalies. The temperature curves to the west of the Leopoldsdorf fault (raised fault block of the basin and basin edge) are highly variable due to the strong circulation system, producing positive and negative thermal anomalies. In the east of the survey region, the temperatures tend to be higher, which can be ascribed to the influence of the Pannonian Basin.

The uniform temperatures in the central part of the Vienna Basin and in the lower fault block down to great depths would support the use of geothermal energy in the form of heating and power generation.

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung.....	i
Abstract.....	iii
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	7
1.2 Ziel der Diplomarbeit	8
2 Beschreibung des Untersuchungsgebietes.....	9
2.1 Geographische Lage des Wiener Beckens	9
2.2 Entwicklungsgeschichte des Wiener Beckens.....	13
2.3 Lithologie und Tektonik	15
2.4 Hydrodynamik im südlichen Wiener Becken.....	23
3 Ausgangssituation im Wiener Becken	28
4 Allgemeine Geothermie.....	30
4.1 Physikalische und petrophysikalische Grundlagen	30
4.1.1 Temperatur T und Temperaturgradient.....	30
4.1.2 Wärme	30
4.1.3 Wärmekapazität C und spezifische Wärmekapazität c	31
4.1.4 Temperaturleitfähigkeit χ	32
4.1.5 Wärmeleitfähigkeit λ	33
4.1.5.1 Temperatur- und Porositätsabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit.....	34
4.1.6 Wärmefluss Φ und Wärmeflussdichte q	36
4.1.7 Wärmeleitungsgleichung.....	37
4.2 Wärmetransport.....	42
4.2.1 Wärmeleitung.....	42
4.2.2 Konvektion und Advektion	43
4.2.3 Wärmestrahlung	43

4.3	Wärmequellen.....	44
4.3.1	Externe Quellen	44
4.3.2	Interne Quellen	45
5	Bestimmung und Korrektur von Temperaturdaten aus KW-Bohrungen	47
5.1	Verfahren zur Temperaturbestimmung.....	47
5.1.1	Temperatur- und ZKB-Log	47
5.1.2	Formationstest in KW-Explorationsbohrungen.....	48
5.1.3	Geophysikalische Bohrlochmessungen	48
5.1.4	Indirekte Methoden	49
5.2	Einflüsse auf die Formationstemperatur.....	51
5.2.1	Bohrspülung	51
5.2.2	Topographie.....	52
5.2.3	Hydrodynamische Systeme	53
5.2.4	Paläoklima	54
5.3	BHT-Korrektur	55
5.3.1	Grafische Korrekturverfahren.....	58
5.3.1.1	Verfahren nach Horner	58
5.3.1.2	Verfahren nach Lachenbruch & Brewer	60
5.3.2	Numerische Verfahren.....	62
5.3.2.1	Numerische Korrekturverfahren nach Leblanc et al. (1982)	63
5.3.2.2	Korrekturverfahren für 1 BHT-Wert	64
5.3.3	Automatisierte Temperaturprognose	65
6	Vorgehensweise bei der Untersuchung des Gebietes	68
7	Erstellung von Temperaturkarten.....	91
7.1	Temperaturverteilung in 1000 m und 1500 m u. GOK.....	92
7.1.1	1000 m u. GOK	92
7.1.2	1500 m u. GOK	97
7.2	Temperaturverteilung in 2000 m und 2500 m u. GOK.....	100
7.2.1	2000 m u. GOK	100
7.2.2	2500 m u. GOK	103
7.3	Temperaturverteilung in 3000 m, 3500 m und 4000 m u. GOK ..	106
7.3.1	3000 m und 3500 m	106

7.3.2	4000 m u. GOK.....	112
8	Interpretation und Schlussfolgerungen.....	115
8.1	Interpretation der Temperaturverhältnisse bis in 2500 m Tiefe..	115
8.2	Schlussfolgerungen.....	131
Danksagung	I	
Abbildungsverzeichnis.....	III	
Tabellenverzeichnis.....	VI	
Literaturverzeichnis.....	VII	
Anhang	A-1	
Lebenslauf.....	A	

1 Einleitung

Die begrenzten Energiereserven bzw. fossilen Ressourcen und die sukzessive Erwärmung der Erde machen es nötig sich mit erneuerbaren Energien, zu denen auch die Geothermie zählt, auseinanderzusetzen.

Um sich die Erdwärme zu Nutze zu machen, ist es jedoch notwendig sich mit dem thermischen Regime im Erdinneren zu beschäftigen (allgemeine Geothermie). Schon im Altertum ging man davon aus, dass sich im Inneren der Erde ein Zentralfeuer befindet und sich ab und zu durch die Kruste in Form von Vulkanausbrüchen zeigt. Die Menschen im Mittelalter glaubten ebenfalls an die Existenz eines Zentralfeuers im Erdinneren. Erst im 17. Jahrhundert versuchte Descartes die Erdentwicklung durch den Vergleich mit den Sternen abzuleiten. Die Zunahme der Temperatur mit der Tiefe wurde von Gelehrten trotz der Aussagen von Bergarbeitern abgelehnt. Im 18. Jahrhundert stellte Leibniz die Theorie auf, dass das Innere der Erde glutflüssig sei und die Kruste durch die Abkühlung der Erde entstanden ist. Der Beweis des flüssigen und heißen Untergrundes erfolgte im 19. Jahrhundert durch Newton auf mathematischem Weg. Im selben Jahrhundert wurden die Grundlagen der Wärmelehre durch Fourier festgelegt, die heute noch Gültigkeit haben. Die Fortschritte in den Naturwissenschaften führten auch zur Weiterentwicklung der Wärmelehre der Erde. Durch die neuen Erkenntnisse und mit Hilfe einer Vielzahl von Temperaturmessungen auf der ganzen Welt, die durch einige Wissenschaftler bzw. Gelehrte (z.B: Humboldt) durchgeführt wurden, war ein besseres Verständnis der Erde möglich (Buntebarth, 1980).

Den Wortstamm „Geothermie“ führte als erster Kupfer in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts ein, indem er die Linien gleicher Bodentemperatur als Isogeothermen bezeichnete (Buntebarth, 1980).

Die Auseinandersetzung mit der Erdentstehung, dem Aufbau des Erdkörpers, der radiogenen Wärmeproduktion (um die Jahrhundertwende) und der Petrochemie führte dazu, dass die Temperaturverteilung im Untergrund ermittelt werden konnte. Am Anfang des 20. Jahrhunderts wurden Abschätzungen über die Temperaturverteilung im Erdkern gemacht. Das Zusammenwirken von vielen

Fachgebieten der Naturwissenschaften machte eine detaillierte Aussage über die Temperaturverteilung in der Kruste und im Mantel (siehe Abbildung 1.1) möglich (Buntebarth, 1980).

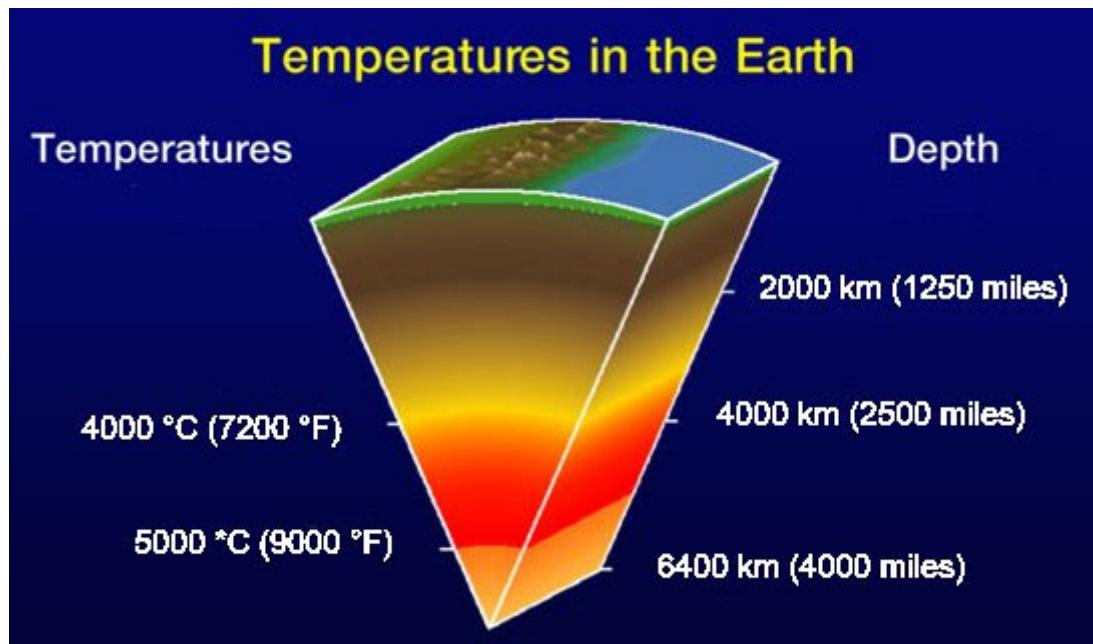


Abbildung 1.1 Temperaturverteilung im Erdinneren, Quelle: www.erneuerbareenergiequellen.com (01.12.2010)

Die angewandte Geothermie nimmt erst ab dem Ende des 19. bzw. Anfang des 20. Jahrhunderts eine wichtige Rolle ein. Dieser Teil des Fachgebietes der Geothermie beschäftigt sich mit der Prospektion und Nutzung der Erdwärme, aber auch mit der Erkundung von Wärmereservoiren im Untergrund (Buntebarth, 1980).

Anfänglich wurde die geothermische Energie nur durch Thermalbäder, denen eine Heilwirkung nachgesagt wurde, genutzt. Schon in der Antike, und vor allem während der Zeit des römischen Reiches nutzten die Römer die warmen Wässer für die Bäder. Die Nutzung der Thermalwässer als Heilbäder erfolgte in unterschiedlichen Regionen der Erde, wo das Wasser natürlich aus der Erde austrat. In Island wurden die austretenden Wässer auch zum Kochen und Heizen benutzt (Buntebarth, 1980).

Seit 1827 werden in Lardarello (Italien) mit Hilfe von geothermischer Energie (in Form von Dampf) Kessel erhitzt. Außerdem befindet sich seit 1904 dort auch das erste geothermische Kraftwerk, das Strom erzeugt. Heutzutage beschränkt sich die Nutzung der Geothermie nicht nur auf Thermalbäder, wobei diese heute noch eine große Bedeutung haben und die Anzahl der Thermen in Österreich weiter ansteigt. Der Fortschritt im Bereich der Technologie und die Forschung im Gebiet der erneuerbaren Energien führten dazu, dass die Erdwärme zur Heizung von einzelnen Gebäuden (Wohnhäuser und -hausanlagen, Gewächshäuser, etc.) und ganzen Gemeinden (Fernwärmesysteme), zur Energie- und Stromgewinnung sowie zur Energiespeicherung im Untergrund verwendet wird. Die Verfahren und Techniken zur Förderung der Wärme aus dem Erdinneren sind sehr vielfältig, wobei zwischen oberflächennaher und tiefer Nutzung unterschieden werden muss. Die maximale Tiefe des oberflächennahen Bereichs ist willkürlich definiert worden und liegt bei 400 m Tiefe (Kaltschmitt, 1999). Diese Definition ergab sich daraus, dass in der Schweiz Anlagen zur Nutzung der Erdwärme ab dieser Tiefe gefördert wurden. Die Abgrenzung zwischen oberflächennahem und tiefem Bereich liegt jedoch nicht exakt in dieser Tiefe, da mit Hilfe des technischen Fortschrittes der Übergang fließender erfolgt (Kaltschmitt, 1999).

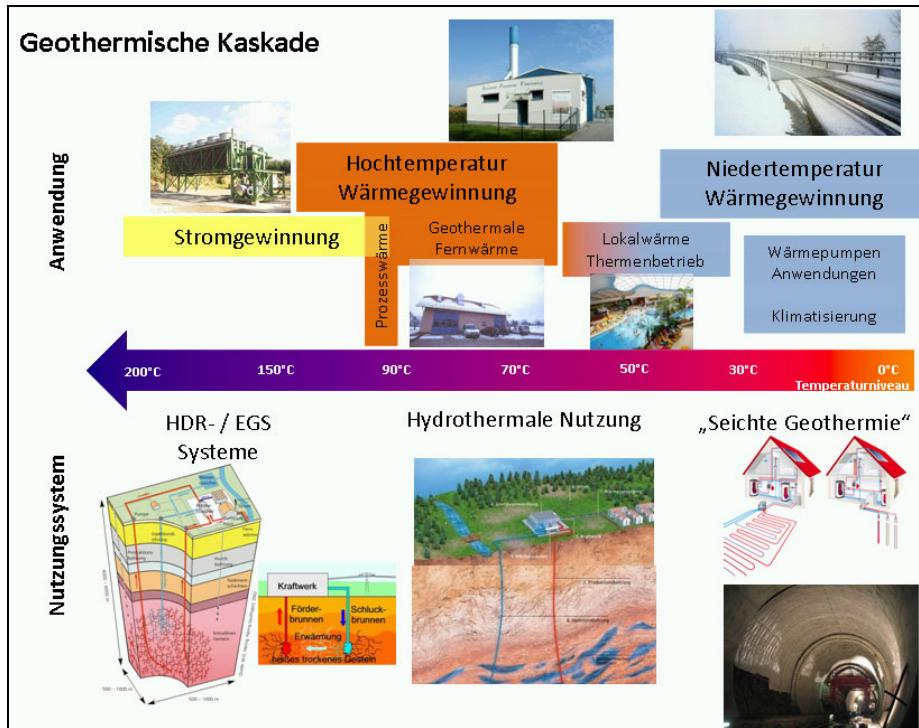


Abbildung 1.2 Geothermische Nutzung und Anwendungsmöglichkeiten, entnommen aus Götzl (2010)

Die Nutzung der oberflächennahen Erdwärme kann eine thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrundes bedeuten und wird zum Heizen und Kühlen eingesetzt (siehe Abbildung 1.2). Die Verwendung des Grundwassers erfolgt mittels Brunnen und Quellen und für die Nutzung des Untergrundes werden Erdwärmekollektoren, -sonden und Sonderformen (siehe rechts unten in Abbildung 1.2) herangezogen. Die thermische Nutzung kann sowohl direkt (ohne Wärmepumpe oder Kühlanlage) als auch indirekt (mit Wärmepumpe oder Kühlanlage) stattfinden (ÖWAV-Regelblatt 207).

Im Falle der Grundwassernutzung wird das Wasser aus einem Förderbrunnen entnommen und danach in einem Wärmetauscher entweder abgekühlt oder aufgewärmt. Anschließend wird das Grundwasser stromabwärts wieder in den Aquifer über einen Schluckbrunnen eingeleitet (ÖWAV-Regelblatt 207).

Bei der thermischen Verwendung des Untergrundes stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung. Die Erdwärmekollektoren, auch Flachkollektoren genannt, sind Kunststoff- bzw. Kupferrohre, die in geringer Tiefe (ca. 1,5 m) horizontal verlegt werden. In diesen Rohren befindet sich das Wärmeträgermedium (Arbeitsmittel), das die im Untergrund enthaltene Wärme

aufnimmt und einer Wärmepumpe zuführt (ÖWAV-Regelblatt 207). Die zweite Möglichkeit der thermischen Nutzung des Untergrundes sind die Erdwärmesonden (Tiefsonden). Diese Sonden, bestehend aus Rohrbündel, werden in Bohrungen, die bis in eine Tiefe von 150 m reichen, eingebracht. Die Wärmeentnahme aus dem Untergrund erfolgt wie bei den Flachkollektoren über ein Arbeitsmittel (ÖWAV-Regelblatt 207). Die Entnahme der oberflächennahen Erdwärme aus dem Untergrund findet über geschlossene Systeme (Arbeitsmittel fließt in einem abgeschlossenen Kreislauf) statt. Bei der Wärmeentnahme mit Hilfe des Grundwassers handelt es sich um ein offenes System, da das Arbeitsmittel das Grundwasser ist und in einen offenen Kreislauf fließt (Kaltschmitt, 1999). Zu den Sonderformen für die thermische Verwendung des Untergrundes gehören z.B. Rammpfähle und Koaxialsonden (ÖWAV-Regelblatt 207).

Eine weitere Nutzung der oberflächennahen Erdwärme ist durch Gruben- und Tunnelwasser möglich. Bergwerke und Tunnel können lokale Drainagen von Thermalwasser Reservoiren darstellen (Kaltschmitt, 1999).

Der oberflächennahe Untergrund und das Grundwasser sowie die hydrothermalen Systeme in größerer Tiefe (Bereich von einigen hundert Metern) können als thermische Energiespeicher (siehe Abbildung 1.3) dienen. Es besteht die Möglichkeit Wärme, Kälte sowie Wärme und Kälte (saisonale unterschiedlich) im Untergrund zu speichern. Auch diese Systeme können sowohl offen (Grundwasserbrunnen) als auch geschlossen (Erdwärmesonden) sein (Kaltschmitt, 1999). Ein Beispiel für die saisonale Wärmespeicherung ist das Reichstagsgebäude in Berlin.

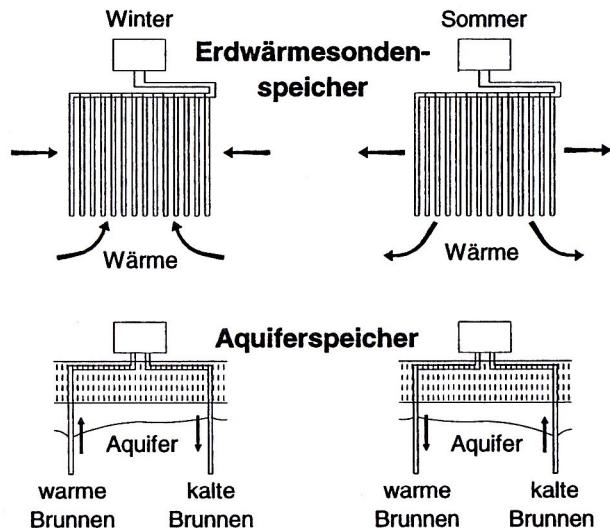


Abbildung 1.3 Prinzip des Erdwärmesonden- und Aquiferspeicher, entnommen aus Kaltschmitt (1999), S.94

In größeren Tiefen kann den hydrothermalen Systemen (heißwasserführende Aquifere; siehe Abbildung 1.2) über Tiefbohrungen das Wasser entzogen werden und mit Hilfe von Wärmetauscher findet der Wärmeentzug statt. In Abhängigkeit des im Aquiferbereich vorherrschenden Druckes (keine artesischen Verhältnisse) muss eine Förderpumpe eingesetzt werden. Mit Hilfe der Pumpe wird das Thermalwasser aus dem Nutzhorizont gefördert, sodass dessen Wärmeinhalt mittels Wärmetauscher an ein Nah- und/oder Fernwärmennetz abgegeben werden kann. Das abgekühlte Wasser wird schlussendlich wieder in den Aquifer eingeleitet (Kaltschmitt, 1999).

Als „Enhanced Geothermal Systems“ (EGS, siehe Abbildung 1.2) werden Anlagen bezeichnet, die die Wärme mittels Wasser oder Dampf aus großen Tiefen (mehrere Kilometer) an die Erdoberfläche fördern (Härnig, 2007). Um Wasser aus dem Untergrund fördern zu können, sofern welches vorhanden ist, muss das Gestein eine gewisse Durchlässigkeit aufweisen. Da letztere mit der Tiefe abnimmt, muss eine minimale Durchlässigkeit künstlich erzeugt werden. Diese erfolgt auf hydraulischem Wege (Hydraulic Fracturing) oder kann durch den Einsatz von Säuren erreicht werden. Beim Hydraulic Fracturing werden durch das Verpressen von Wasser Gesteinsflächen gegeneinander verschoben und geschert. Bei Verringerung des Druckes passen die Flächen nicht aufeinander, sodass sich die Durchlässigkeit verbessert (Härnig, 2007). Diese Flächen wirken wie

Wärmeaustauschflächen. Die aus dem Untergrund gewonnene Wärme gelangt über die Produktionsbohrung in einen weiteren Kreislauf, der eine stromerzeugende Turbine antreibt. Die Erdwärme kann auch zur Prozeßwärmebereitstellung für Industrie, Gewächshäuser, Fischzucht und/oder zur Speisung von Nah- und Fernwärmennetzen verwendet werden (Kalschmitt, 1999).

Die permanente Verfügbarkeit der geothermalen Energie und die sehr geringe Umweltbelastung, aber auch die Tatsache, dass die Erdwärme zu den nachhaltigen Ressourcen zählt, machen diesen alternativen Energieträger sehr attraktiv und wichtig für die Zukunft.

1.1 Motivation

Über das an der Geologischen Bundesanstalt laufende und von der Österreichischen Akademie der Wissenschaften geförderte Projekt „THERMALP – Geothermie der Ostalpen“ wird, wie der Name der Studie schon andeutet, versucht ein drei-dimensionales geothermisches Untergrundmodell für die Ostalpen im Allgemeinen und für die Hochscholle des südlichen Wiener Beckens im Speziellen zu erarbeiten.

Das Wiener Becken, das eine Übergangszone zwischen den Alpen und Karpaten darstellt, ist deshalb ein wichtiges Untersuchungsgebiet, da in diesem Bereich durch die OMV AG viele Tiefbohrungen abgeteuft wurden und deshalb ein hoher Informationsgehalt über den Untergrund vorhanden ist. Der südliche Anteil des Beckens ist aufgrund des Alpenkörpers und des damit verbundenen sensitiven Thermalwassersystems von großem Interesse.

Das hydrologische System und das geothermische Regime auf der Hochscholle werden zur Mineralwassergewinnung und für balneologische Zwecke verwendet. Das geothermische Potenzial der Tiefscholle, vor allem des kalkalpinen Untergrunds, ist nach Walker-Hertkorn (2000) enorm und bislang nicht genutzt worden. Die große Mächtigkeit des kalkalpinen Baus und die hohen Temperaturen befürworten in weiterer Folge eine Auseinandersetzung mit geothermaler Stromgewinnung und die Einspeisung von Wärme in ein

Fernwärmennetz in diesem Gebiet, jedoch sind mit Tiefbohrungen auch hohe Bohrkosten verbunden. Eine weitere Herausforderung besteht in der hohen Salinität der Thermalwässer, die aufgrund von Umweltgründen wieder in den Untergrund reinjiziert werden müssen. Dennoch zählt die geothermale Energiegewinnung zu den nachhaltigen und umweltfreundlichen Formen.

Im Gegensatz zu der im zentralen und nördlichen Bereich des Wiener Beckens gelegenen Tiefscholle existieren in der im Süden gelegenen Hochscholle bis dato keine thermischen Übersichtskarten. Aus diesem Grund wird im Rahmen dieser Diplomarbeit (und begleitend zum Projekt) das thermische Regime im Bereich des südlichen Wiener Beckens untersucht.

1.2 Ziel der Diplomarbeit

Die Aufgabe dieser Diplomarbeit ist es, mit Hilfe von thermischen Messdaten (BHT-Werte, Temperaturlogs, thermische Bestimmung der Zementoberkante – ZKB-Log, Temperaturbestimmung im Rahmen von hydraulische Formationstests) aus den Erkundungsbohrungen der OMV AG, das geothermische Regime im Bereich der Hoch- und Tiefscholle des südlichen Wiener Beckens in Form von Temperaturkarten in verschiedenen Teufen darzustellen. Um die Temperaturkarten erstellen zu können, müssen die Temperaturdaten korrigiert werden (grafische und numerische Verfahren). Der Vergleich der Ergebnisse aus den verschiedenen Korrekturverfahren stellt ebenfalls ein wesentliches Ziel dieser Diplomarbeit dar.

Die Erkenntnisse dieser Diplomarbeit werden in weiterer Folge als Kalibrierungs- bzw. Interpretationshilfe für das zuvor genannte Projekt THERMALP herangezogen werden.

2 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

2.1 Geographische Lage des Wiener Beckens

Das Wiener Becken liegt im Osten von Österreich und stellt eine Übergangszone zwischen den Alpen und den Karpaten dar. Es erstreckt sich über die Bundesländer Niederösterreich, Wien und Burgenland und reicht über die österreichische Staatsgrenze hinaus bis in die Slowakei und Tschechien – die Untersuchungen beschränken sich jedoch nur auf den österreichischen Anteil (Abbildung 2.2). Das gesamte Becken ist ca. 200 km lang und max. 50 km breit und hat einen spindelförmigen Grundriss. Das Wiener Becken verläuft ungefähr parallel zur Südostflanke des Spornes der Böhmischem Masse (Abbildung 2.1) (Wessely, 2006). Die Unterteilung des Wiener Beckens in einen nördlichen und einen südlichen Anteil erfolgt durch die Donau (Wessely, 2006). Die Höhenlage ist niedrig und reicht nur selten über 300 m Seehöhe hinaus. Die Ausnahmen sind der Steinberg mit 318 m (Zistersdorf) und der Anstieg des südlichen Wiener Beckens bei Gloggnitz mit Höhen über 380 m (Wessely, 2006).

2. Beschreibung des Untersuchungsgebietes

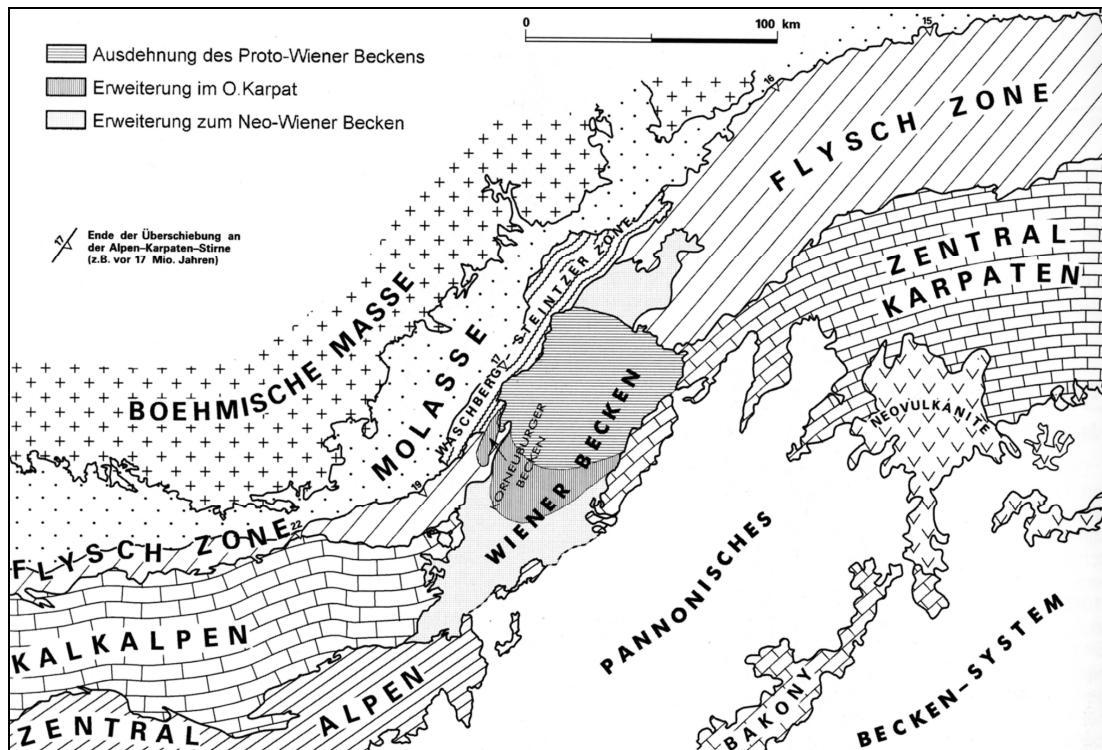


Abbildung 2.1 Tektonische Stellung des Wiener Beckens im Alpen-Karpaten-Raum, entnommen aus Wessely (2006), S.190

Über die Akquisition und Aufarbeitung der aus den Bohrungen der OMV AG vorhandenen thermischen Daten (BHT-Werte) konnte das Untersuchungsgebiet der vorliegenden Diplomarbeit im südlichen Wiener Becken eingegrenzt werden. Die zur Verfügung stehenden Tiefen-Temperatur-Informationen wurden so gegliedert, dass hauptsächlich Bohrungen mit mittleren bis großen Endteufen (2500 bis ca. 6000 m) für das weitere thermische Processing ausgewählt wurden (siehe Abbildung 2.2). Obwohl einige Bohrungen nur einzelne BHT-Daten enthalten, wurden sie ebenfalls für das thermische Processing hinzugezogen. Aus der Tiefen-Einschränkung ergeben sich folgende Eckkoordinaten für das Bearbeitungsgebiet der Diplomarbeit (Tabelle 2.1).

Tabelle 2.1 Koordinaten des Kerngebietes der Diplomarbeit

MGI BMN M34	Minimaler Wert	Maximaler Wert
RW (Rechtswert)	741000	790000
HW (Hochwert)	317000	362000

Zur Darstellung der Temperaturverteilung in verschiedenen Tiefen sind jedoch auch Bohrungen außerhalb dieses Gebietes verwendet worden um Randeffekte, die bei der Interpolation der Temperaturen auftreten können, zu vermeiden.

2. Beschreibung des Untersuchungsgebietes

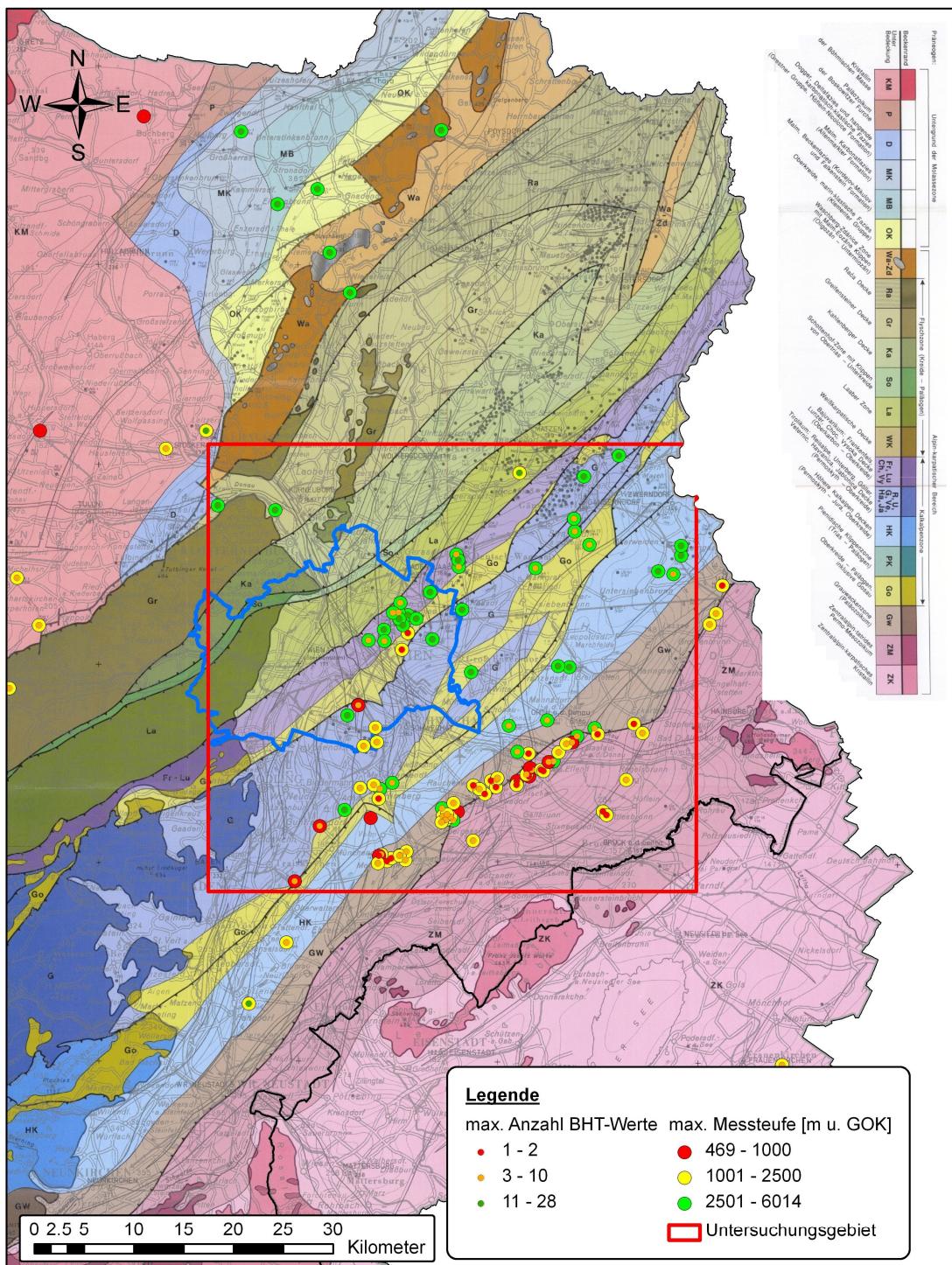


Abbildung 2.2 Untersuchungsgebiet der Diplomarbeit und Strukturkarte (Basis der tertiären Beckenfüllung), entnommen aus Kröll et al., 1993

2.2 Entwicklungsgeschichte des Wiener Beckens

Der Untergrund im Wiener Becken kann im Wesentlichen in drei Stockwerke unterteilt werden. Das erste und jüngste (oberste) Stockwerk besteht aus neogenen Sedimenten – Neo-Wiener Becken genannt. Das zweite, darunterliegende Stockwerk beinhaltet alpin-karpatische Überschiebungsdecken – Proto-Wiener Becken – und im dritten und tiefsten Stockwerk – dem Prä-Wiener Becken – finden sich Ablagerungen aus dem autochthonen Molassebecken (Tertiär und Mesozoikum) (Wessely, 1993).

Im Mesozoikum beginnt die Bildung des Beckens im mittleren Jura. Durch das Auseinanderdriften von Kontinentalplatten im Alpen-Karpaten-Bereich kommt es zur Bildung von „Riftbecken“ (Dogger) und „Passivrandbecken“ im Malm und der Kreide (Wessely, 1993). Diese überlagern den Kristallinsockel der Böhmischen Masse (vgl. Phase 1 in Abbildung 2.3). Über das im Tertiär (Eozän bis Oligozän) entstehende „Vorlandbecken“ schieben sich die alpin-karpatischen Einheiten (vgl. Phase 2 in Abbildung 2.3) (Wessely, 2006).

Im Miozän schieben sich die Decken über das Vorland in Richtung Nordwesten weiter. Währenddessen findet Sedimentation vor den noch überschiebenden Decken sowie am Rücken dieser Decken („piggy-back – Becken“) statt (vgl. Phase 3 in Abbildung 2.3) (Wessely, 2006).

Aufgrund der Verlagerung der Bewegungsintensität von Westen nach Osten zu dieser Zeit, kommt es zu einer Zerrung zwischen stabilen und beweglichen Zonen. Dies und der Widerstand des böhmischen Kristallinsporns hat im Wiener Becken einen „pull-apart“-Mechanismus zur Folge, d.h. es findet eine Zerrung schräg zu Achse statt (SSW nach NNO) (Wessely, 1993). Durch diesen Effekt entstehen Abschiebungen, in denen synsedimentäre bzw. autochthone Ablagerungen zu finden sind, die vom Eggenburgium bis ins Karpatium reichen. Ab der Zeitstufe des Badeniums lagern sich die Sedimente ungestört und gleichmäßig ab (siehe Abbildung 2.4) (Wessely, 2006).

2. Beschreibung des Untersuchungsgebietes

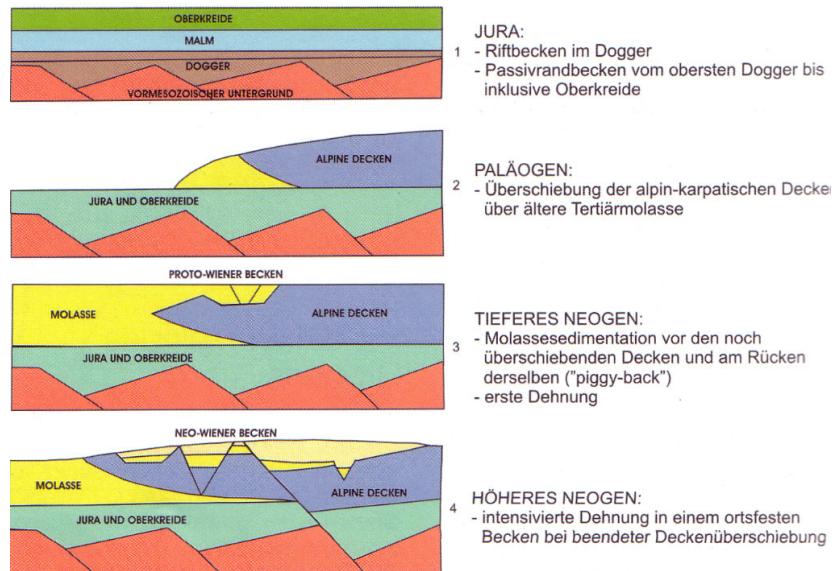


Abbildung 2.3 Vereinfachte Darstellung der Entwicklung des Wiener Beckens, entnommen aus Wessely (2006), S.196

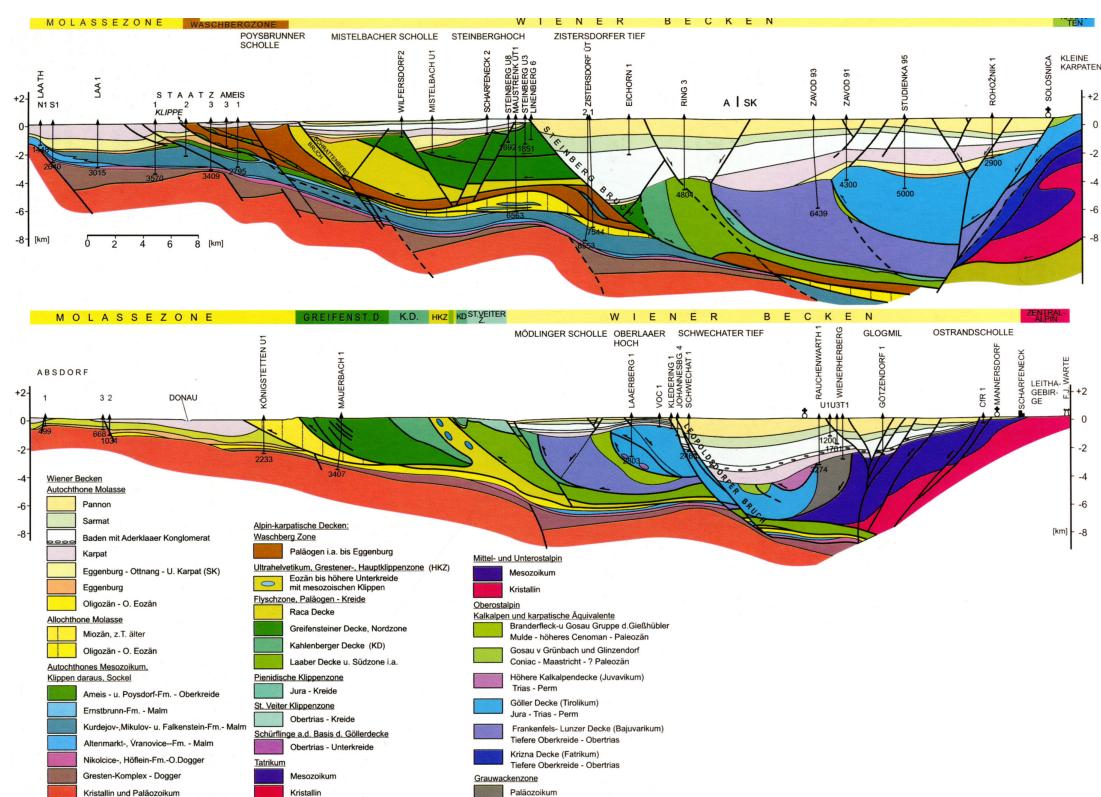


Abbildung 2.4 Geologische Profile durch das nördliche und südliche Wiener Becken, entnommen aus Wessely (2006), S.191

Zwischen dem Proto- und Neo-Wiener Becken (untere bis mittlere Miozän) finden starke tektonische Verstellungen und Erosion statt. Dies ist vor allem im Bereich Matzen zu sehen, wo das Neogen komplett wegerodiert ist. Nach Weissenbäck (1995; zitiert in Wessely, 2006) soll die erodierte Mächtigkeit ca. 600 m betragen haben (Wessely, 2006).

Ab dem Badenium bis über das Pannonium dehnt sich das Wiener Becken aus und wird ortsfest, da die alpinen Überschiebungen aufhören (vgl. Phase 4 in Abbildung 2.3). Im Nordosten dauern die Überschiebungen jedoch noch in der Gegenwart an, was weitere Dehnung und Zerrung des Wiener Beckens zur Folge hat (Wessely, 2006).

2.3 Lithologie und Tektonik

Die tektonischen Haupteinheiten, die den Untergrund des Wiener Beckens bilden und die aufgrund der hohen Dichte an Bohrungen der OMV AG im Wiener Becken sowie mit Hilfe von geophysikalischen Untersuchungen erforscht werden konnten, sind:

- Kristallin der Böhmisches Masse

Das Kristallin der Böhmischen Masse ist der übriggebliebene Teil eines Hochgebirges, dass mit der Zeit abgetragen und eingeebnet wurde. Das Hochgebirge hat sich im frühen Jungpaläozoikum durch Verschiebungen, Faltungen und Hebung gebildet. Die Böhmische Masse besteht aus metamorphem Gestein und Magmatiten (Wessely, 2006).

- Autochthones Mesozoikum

Das Autochthone Mesozoikum überlagert die kristalline Basis der Böhmischen Masse. Die Schichtfolge beginnt im Dogger (Mitteljura) mit Quarzsandstein und Tonstein als Zwischenlage. Darüber liegen Dolomit, Quarzsandstein und

2. Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Hornstein. Im Malm (Oberjura) trifft man im Westen auf Kalkstein und im Osten auf Mergelstein an (Wessely, 1993).

- Molasse (autochthone und subalpine)

Zur Molasse zählen Gesteine, die aufgrund der Bildung vom Gebirgskörper abgetragen und zerkleinert wurden. Sie stellt die Sedimentfüllung des ehemaligen Meeresbereiches der Paratethys zwischen der Böhmischem Masse und den Ostalpen dar (Wessely, 2006). Man unterscheidet zwischen autochthonen und allochthonen (subalpinen) Molassesedimenten, wobei autochthon für die ungestörte Ablagerung der Sedimente und allochthon für die tektonisch verformte Molasse steht. Die tektonische Verformung wurde durch Überschiebung der Kalkalpen und der Flyschzone hervorgerufen (Wessely, 2006).

Die stratigraphische Reichweite reicht vom Obereozän bis ins Obermiozän. Die allochthonen Ablagerungen, die im Untersuchungsgebiet auftreten reichen vom Oligozän bis ins Untermiozän und setzen sich hauptsächlich aus Ton- und Sandsteinen zusammen. Zusätzlich treten Konglomerate auf (Wessely, 1993).

- Waschbergzone

Die Waschbergzone bildet den äußersten Rand der alpin-karpatischen Decken. Die Überschiebung der alpin-karpatischen Decken und die Molassesedimentation während der voranschreitenden Überschiebung führen dazu, dass diese Einheiten sehr komplex aufgebaut und teilweise ineinander verzahnt sind. Sie besteht hauptsächlich aus tektonisch bewegten Formationen der Molasse, in denen Klippen¹ des Malm und der Oberkreide eingebaut sind (Wessely, 2006).

- Flyschzone

¹ Def.: Unter einer Klippe ist ein Gesteinskomplex zu verstehen, der von einer leichter deformablen Masse tektonisch umhüllt ist und wurzellos mitschwimmt. (Wessely, 2006)

Die Ablagerung der Gesteine dieser Einheit erstreckt sich von der höheren Unterkreide bis ins Eozän. Die Abfolgen von Sandstein und Mergel werden von Glaukonitsandsteinkomplexen, mit bis zu mehreren 100 Metern Schichtmächtigkeit, überlagert. Im oberen Bereich der Flyscheinheit liegen hauptsächlich Ton- und Mergelstein vor. Des Weiteren sind auch Kalkstein und Kalksandstein vorhanden (Wessely, 1993).

- Kalkalpen

Die Schichtabfolge der kalkalpinen Zone reicht von Permoskyth bis ins mittlere Paleozän. Die Kalkalpen werden in drei tektonische Einheiten gegliedert: die Frankenfels-Lunzer-Decke (tiefste Einheit), die Göller Decke – Teil der Ötscher Decke – und die höheren Kalkalpendecken (Wessely, 1993):

Die Frankenfels-Lunzer-Decke:

In der Zeitstufe Trias werden Gesteinstypen wie Hauptdolomit, Anhydrit und Plattenkalke abgelagert. Darüber lagern sich in wechselhafter Abfolge im Jura Kalk-, Horn-, Ton- und Mergelstein ab. Danach erfolgt eine Schichtung von Sand- und Mergelsteinen (in der Kreide). Über die Oberkreide findet sich eine Gosauschicht in Form der Gießhübler Mulde. Im Paläogen erfolgt die Ablagerung von Sandstein, Mergel, Brekzie und Quarzsandstein (Wessely, 1993).

Die Göller Decke:

Bei der Göller Decke muss zwischen einem südlichen und nördlichen Bereich unterschieden werden. Die unterste bzw. älteste Schicht liegt in beiden Bereichen im Permoskyth. Diese Schicht besteht aus Tonschiefer mit eingelagerten Dolomit-Anhydritkomplexen. Die im nördlichen Teil darübergelegene Schichtabfolge aus der Trias setzt sich aus Gesteinen, wie Hauptdolomit, Kalk- und Sandstein und Tonschiefer zusammen. Der Dolomit und Anhydrit setzen sich zeitlich fort. Im Süden treten auch Dolomit und Kalkstein auf. Außerdem wird der Dolomit gegen Süden von Dachstein- und Plattenkalk ersetzt. Die Ablagerungen des Jura setzen erst im südlichen Bereich ein und bestehen hauptsächlich aus Mergelstein,

2. Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Kalkstein und Tonschiefer (Wessely, 1983). Die Unterkreide fehlt bisher im nördlichen und südlichen Bereich. In der Oberkreide finden sich die Gosauschichten in beiden Bereichen und bestehen aus Mergel-, Kalk- und Kalksandstein und Brekzien aus Dolomitschutt (Wessely, 1993).

Die höheren Kalkalpendecken:

Das Permoskyth der höheren Kalkalpendecken ist dem der Göller Decke gleich. In der Trias findet die Ablagerung von Dolomiten, Dachstein- und Plattenkalken statt. Jura und Unterkreide sind nicht vorhanden und die Oberkreide ist nur vereinzelt anzutreffen (Wessely, 1993).

- Grauwackenzone

Die Grauwackenzone trennt die nördlichen Kalkalpen und die zentralen Ostalpen voneinander (Wessely, 2006). Diese Einheit besteht aus Gesteinen aus dem Paläozoikum. Die häufigsten im südlichen Wiener Becken auftretenden Gesteinstypen der Grauwackenzone sind dunkle Tonschiefer und Quarzarenite (Bohrungen: Fischamend T001, Wienerherberg 001, etc.), die im Karbon abgelagert worden sind (Wessely, 1993; Wessely, 1983).

- Zentralalpen und Tatriden

Diese Einheit wurde in Form von zentralalpinen Kristallin und mesozoischem Sedimentmantel (Semmeringmesozoikum und Tatriden) durch Bohrungen erschlossen. Wie bei den Kalkalpen liegt die älteste Schicht im Permoskyth und besteht aus Quarziten. Darüber lagern sich Kalke und Dolomite in der Mitteltrias ab. Die Schichtfolge in der Obertrias setzt sich aus Tonen, Quarziten, Dolomiten und Kalken zusammen (Wessely, 1993).

- Neogen

Im Zeitraum vom Eggenburgium bis Karpatium, in dem das Proto-Wiener Becken gebildet wurde, lagern sich Mergel und Tonmergel ab. Im Karpatium wurden zusätzlich zu den Tonmergeln auch Sandstein, Kalkstein und Konglomerate abgelagert (Wessely, 2006).

Vom Badenium bis über das Pannonium wird das Neo-Wiener Becken gebildet und in diesem Zeitraum lagern sich Tonmergel, Sandstein und Konglomerate ab. Im Quartär kommt es zur Ablagerung von Kies. Die Ablagerung von Sedimenten findet im Wiener Becken noch in der Gegenwart statt (Wessely, 2006).

Die größten Sedimentablagerungen im südlichen Wiener Becken sind im Wiener Neustädter Graben (ca. 2000 m) und am nordöstlichen Ende des Mitterndorfer Grabens (3000 m) zu finden (vgl. Abbildung 2.5) (Wessely, 2006).

Das südliche Wiener Becken ist aufgrund einer Reihe von Brüchen, die von NE nach SW gerichtet sind, in Hoch- und Absenkungsbereiche gegliedert (Wessely, 1983). Die Brüche haben wegen des Pull-Apart-Mechanismus eine definierte Anordnung und fallen nach Osten ein. Der Einfallswinkel liegt zwischen 50° und 60°. Teilweise verlaufen die Brüche parallel versetzt weiter (Abbildung 2.6) (Wessely, 2006).

Die von NE-SW streichende Störungszone reicht vom Mur-Mürztal, über Gloggnitz, der Mitterndorfer Senke und der Lasseer Senke bis zum Zahor-Plavecky-Graben in der Slowakei und wird abgekürzt GLOGMIL genannt. Die GLOGMIL ist auch als Vienna Basin Transform Fault (VBTF) bekannt (Abbildung 2.6). Die VBTF ist eine sinistrale Blattverschiebung (strike-slip fault), die im Querschnitt eine „flower-structure“ („Blumenstruktur“) zeigt. Die Seitenverschiebung ist noch heute aktiv und anhand von Seismizität entlang der Störung belegt (Wessely, 2006).

Das Leopoldsdorfer-Bruchsystem trennt das südliche Wiener Becken in eine Hoch- und eine Tiefscholle mit einem maximalen Vertikalversatz von mehr als 4000 m. Der Bruch erstreckt sich über mehrere Kilometer von Norden nach Süden. Östlich des Bruchsystems liegt das Schwechater Tief mit einer Schichtmächtigkeit der Sedimentablagerungen von über 5000 m. Dem gegenüber

2. Beschreibung des Untersuchungsgebietes

liegt das Oberlaaer-Hoch. Das Leopoldsdorfer-Bruchsystem setzt sich aus mehreren Staffelbrüchen zusammen, von denen der westlichste die Fortsetzung des Bisambergbruchs darstellt (Abbildung 2.5 und Abbildung 2.6) (Wessely, 2006).

Das Grabensystem im Wiener Becken besteht aus dem Wiener Neustädter Graben, dem Mitterndorfer Graben und dem im nördlichen Wiener Becken gelegenen Lasseer Graben. Das System steht mit der NE-SW streichenden Störungszone (VBTF) in Zusammenhang.

Die Mitterndorfer Senke ist ca. 40 km lang und 6 km breit und läuft entlang zweier subparalleler Randstörungen (Abbildung 2.6). Der Graben ist aufgrund der Streichrichtungsänderung der VBTF zustande gekommen (Wessely, 2006).

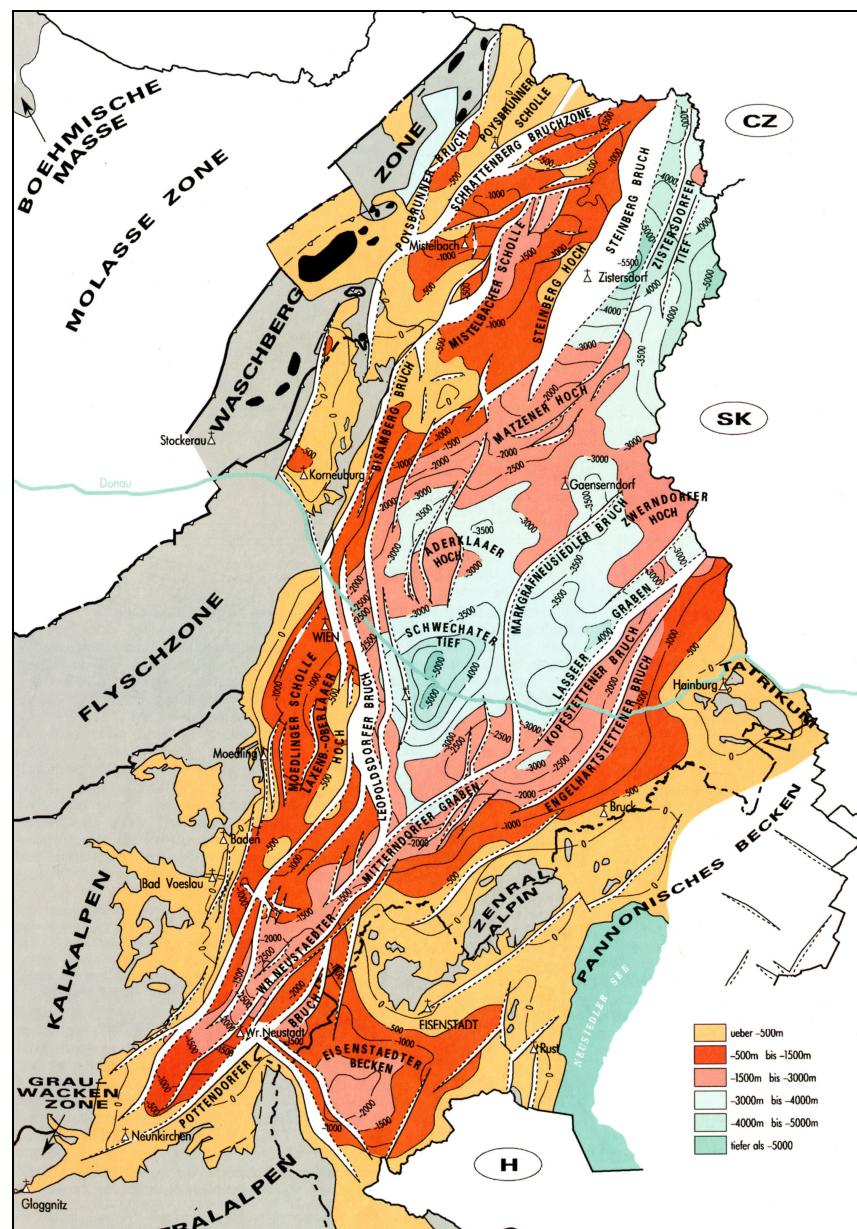


Abbildung 2.5 Strukturkarte des Untergrundes des Wiener Beckens, entnommen aus Wessely (2006), S.193

2. Beschreibung des Untersuchungsgebietes

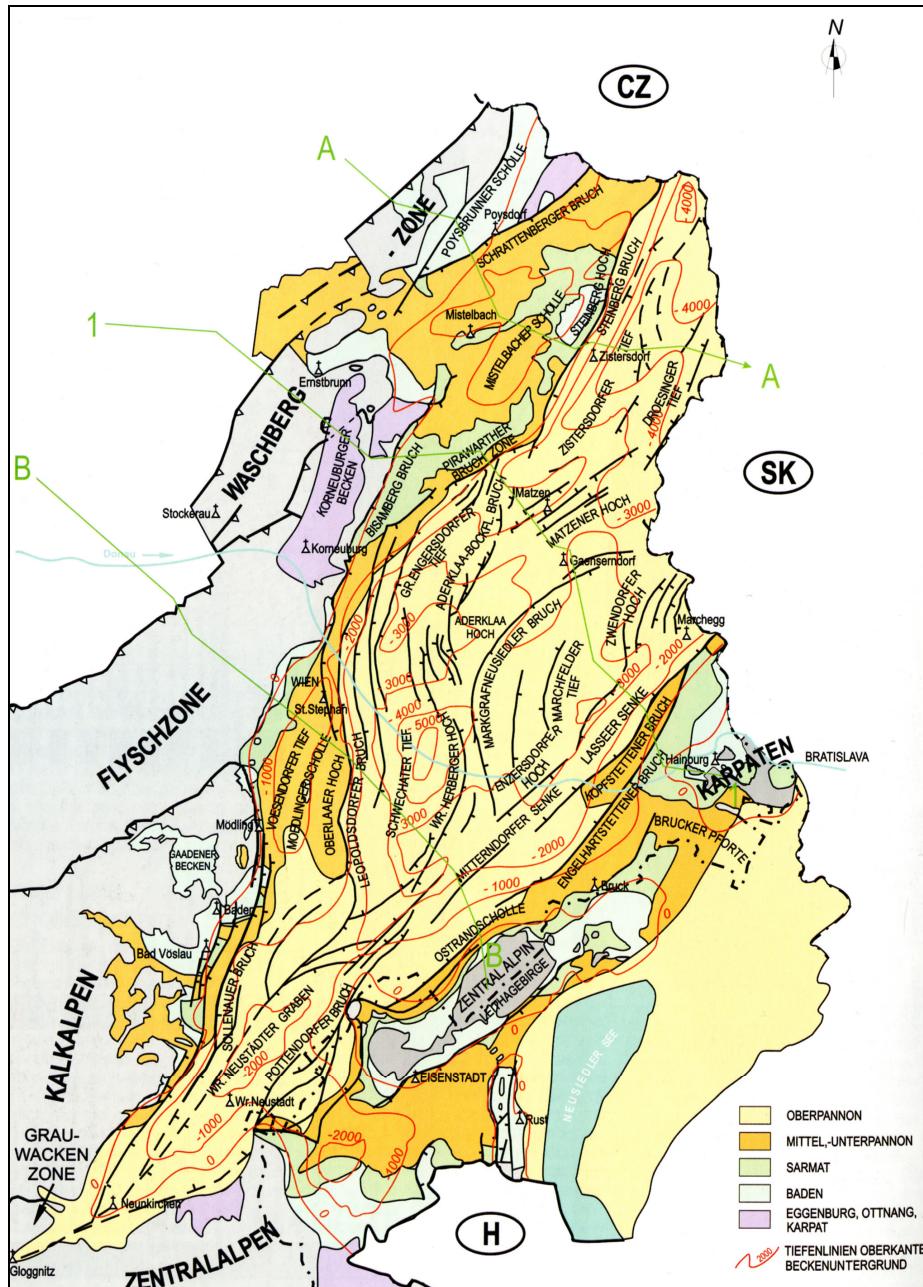


Abbildung 2.6 Oberflächengeologische Übersichtskarte des Miozän des Wiener Beckens, entnommen aus Wessely (2006), S:192

2.4 Hydrodynamik im südlichen Wiener Becken

Die hydrodynamischen Systeme im südlichen Wiener Becken sind durch Wessely (1983) beschrieben worden. Das Vorhandensein von solchen Systemen ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Zu diesen Faktoren zählen:

- Verlauf der Tiefenwässer
- Einzugsbereiche der Tiefenwässer an der Erdoberfläche
- abdichtend wirkenden geologischen Einheiten
- poröse Zonen im Untergrund
- Störungszonen (z.B. Leopoldsdorfer Bruch)

Die genaue Kenntnis dieser Faktoren ist für die geothermale und balneologische Nutzung von großer Bedeutung. Zusätzlich zu diesen Faktoren sind die Temperatur- und Druckverhältnisse, aber auch die chemische Zusammensetzung der Tiefenwässer in hydrodynamischer Hinsicht sehr wichtig (Wessely, 1983).

Die Gesteine der kalkalpinen Einheit sind porös bzw. durchlässig und es können somit Wässer in diesen Schichten zirkulieren. Die Kalkalpen werden im Wiener Becken von der Flyschzone im Nordwesten und der Grauwackenzone im Süden begrenzt. Diese beiden Einheiten wirken im Allgemeinen hydraulisch abdichtend und begrenzen somit Fließwege nach Nordwesten bzw. Südosten. Wie im vorhergehenden Kapitel erwähnt, wird der kalkalpine Untergrund durch den Leopoldsdorfer Bruch in eine Hochscholle und Tiefscholle getrennt. Der Bruch bildet durch den Versatz und die im Neogen abgelagerten Mergel eine weitere Abdichtungszone (siehe Abbildung 2.6). In der kalkalpinen Einheit ist der Dolomit (Mittel- und Obertrias) das am häufigsten auftretende Speichergestein. In den Zentralalpen (Semmeringer Mesozoikum) sind die Karbonatserien die Speichergesteine, wobei bei gegebener Klüftung auch Quarzite (Keuper Serie) hydraulische Durchlässigkeit aufweisen können. Die Zentralalpen sind jedoch zum Großteil undurchlässig. Sie werden wie die Kalkalpen von der isolierenden Grauwackenzone begrenzt. Im Neogen ist das Aderklaer Konglomerat ein gutes Speichergestein. Andere Gesteinsarten aus dem Baden, Sarmat und Pannon besitzen ebenfalls eine hohe Porosität, aber die Permeabilität ist teilweise aufgrund von Zementation nicht gegeben (Wessely, 1983).

2. Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Die abdichtenden Gesteine in den Kalkalpen sind Ton- und Mergelschiefer, Sandstein- und Mergelkalke der Gosau. Der Flysch und die Grauwackenzone bestehen, wie Eingangs schon erwähnt, hauptsächlich aus dichten Gesteinen (Pelite). Das Kristallin der Zentralalpen ist ebenfalls undurchlässig. Im Neogen wirken Tonmergel hydraulisch isolierend (Wessely, 1983).

Die Mächtigkeit des Hauptdolomits der Frankenfels-Lunzer Decke nimmt gegen Norden ab und ist zusätzlich verfaltet, sodass der Hauptdolomit fast unbedeutend als Aquifer ist. Die Dolomite der Göller Decke aus dem Mittel- und Obertrias (Hauptdolomit und Wettersteindolomit) haben im Gegensatz dazu eine große Bedeutung. Die Einzugsgebiete der Göller Decke sind das Anninger-Massiv (Mödlinger Scholle bis Oberlaa), die Ostflanke des Lindkogelmassiv aus dem Mitteltrias (bis Laxenburg und Himberg), der Bereich im SW vom Lindkogel und Berndorf. Die höhere Kalkalpendecke und die Göllerdecke werden durch Werfener Schichten und der Gosau voneinander abgedichtet. Die höhere Kalkalpendecke hat vergleichbar zur Göller Decke aufgrund verkarstungsfähiger Wettersteinkalke eine große hydrologische Bedeutung. Das Einzugsgebiet dieser tektonischen Einheit liegt im Bereich der Rax, des Schneebergs, der Hohen Wand und der Fischauer Berge, wobei die höhere Kalkalpendecke und die Göllerdecke vom Leopoldsdorfer Bruchsystem betroffen sind. Die Zentralalpen bestehen hauptsächlich aus dichten Gesteinen und ihr Einzugsgebiet ist deshalb stark begrenzt. In Österreich beschränkt sich dieses Areal auf das Leithagebirge und dem Semmering Gebiet bzw. Wechsel. Das Neogen hat den Einzugsbereich von Oberflächenwässern am Rand und im Süden des Wiener Beckens und isoliert die Zirkulationswege der Kalkalpen und der Zentralalpen. Das Aderklaer Konglomerat, ein poröses Gestein, ist im Bereich von Oberlaa mit dem kalkalpinen Hauptdolomit verbunden und besitzt daher dasselbe hydrologische Regime wie der obere Bereich des Beckenuntergrunds. Dies gilt jedoch nur für die Hochscholle (Wessely, 1983).

Aufgrund der hydraulischen Abdichtung durch den Leopoldsdorfer Bruch und der Grauwackenzone liegen zwei Arten von Zirkulationssystemen im kalkalpinen Untergrund vor (Wessely, 1983):

- Hydrostationäres System – geringe Hydrodynamik – im zentralen Wiener Becken (östlich des Leopoldsdorfer Bruches) mit hoher Salinität des Wassers und gleichförmigen Temperaturgradienten, weniger thermische Anomalien.
- Stark ausgeprägtes hydrodynamisches System auf der Hochscholle (westlich des Bruches) und den Beckenrändern mit niedriger Salinität des Wassers und lokalen Schwankungen des Temperaturgradienten in Form von positiven und negativen Anomalien.

Im westlichen Bereich bis zum Leopoldsdorfer Bruch ist ein süßwasserdominiertes und sulfathältiges Regime anzutreffen und im östlichen Bereich befindet sich ein gegensätzliches System. Das hydrodynamische System in den höheren kalkalpinen Decken ist ähnlich dem der Gölle Decke (niedrige Salinität und Sulfatgehalt). Auch in den mesozoischen Karbonatserien der Zentralalpen herrscht ein ähnliches Regime vor (Wessely, 1983).

Das wichtigste hydrodynamische System befindet sich in den hydraulisch leitfähigen Karbonatserien der Gölle Decke und erstreckt sich vom Rand der Kalkalpen bis zur westlichen Randscholle des südlichen Wiener Beckens bzw. westlich des Leopoldsdorfer Bruches. Ein weiteres, abgetrenntes Fließsystem befindet sich in der höheren Kalkalpendecke. Im ersten dynamischen System oder auch offenes System genannt wird das meteorische Wasser in den oben erwähnten Einzugsgebieten eingespeist (Berndorf, ...) und fließt im Beckenuntergrund vom Westen in nordöstlicher Richtung. Am Leopoldsdorfer Bruch steigt dann das im kalkalpinen Bereich erwärmte Wasser hoch und wird durch Wärmeabgabe des umliegenden Gesteins im Neogen weiter aufgewärmt. Das heiße Wasser wird im unteren Neogen (Aderklaaer Konglomerat) und oberen Beckenuntergrund gespeichert und wird wieder in östliche Richtung gedrängt. In den Zentralalpen und der höheren Kalkalpendecke herrscht ein ähnliches Zirkulationssystem. Auch im hydrostatischen System wurden geringe Fließbewegungen an den Rändern festgestellt (Wessely, 1983).

Das dynamische System wird im Wesentlichen für balneologische Zwecke und zur Mineralwassergewinnung genutzt. Beispiele dafür sind Oberlaa und Bad

2. Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Vöslau. Das statische System könnte in Zukunft aufgrund des hohen geothermischen Potenzials zur umweltfreundlichen Energiegewinnung, zur Stromerzeugung, für Heizzwecke, Pflanzenzucht, etc. genutzt werden (Wessely, 2006).

Einige Temperatur-Tiefen-Profile aus Wessely (1983) zeigen thermisch hervorgerufene Anomalien. In Abbildung 2.7 ist ein solches Profil für die Bohrung Berndorf 1 zu sehen. Auf der linken Seite der Abbildung sind die geologischen Einheiten aufgetragen (Pannon P, Göller Decke, ...). Die Darstellung der Temperatur mit der Tiefe ist dem gegenüber gestellt. Das Temperatur-Tiefen-Profil wurde aus hydraulischen Formationstests abgeleitet. Der Wasserzutritt in verschiedenen Tiefen, der ebenfalls aus den hydraulischen Tests ermittelt wird, ist in m^3 angegeben und gibt wichtige Hinweise auf geothermische Anomalien, die durch hydrothermale Systeme hervorgerufen worden sind, wobei hier eine eindeutige Abkühlung des Gebirges infolge einströmender Oberflächenwässer zu beobachten gewesen ist. Das Vorhandensein eines offenen Systems wird neben der niedrigen Gebirgstemperaturen vor allem auch durch Süßwasserführung in dieser Bohrung bis in Tiefen von über 4000 m u. GOK belegt. Somit liegt die Bohrung Berndorf 1 im Einzugsgebiet eines hydrodynamischen Systems in der Westrandscholle (Mödlinger Scholle). Die Bohrungen Sollenau 1 und Tattendorf 1 belegen das Fließsystem in der höheren Kalkalpendecke, jedoch sind die Temperaturen im Neogen und im Beckenuntergrund unterschiedlich (Wessely, 1983).

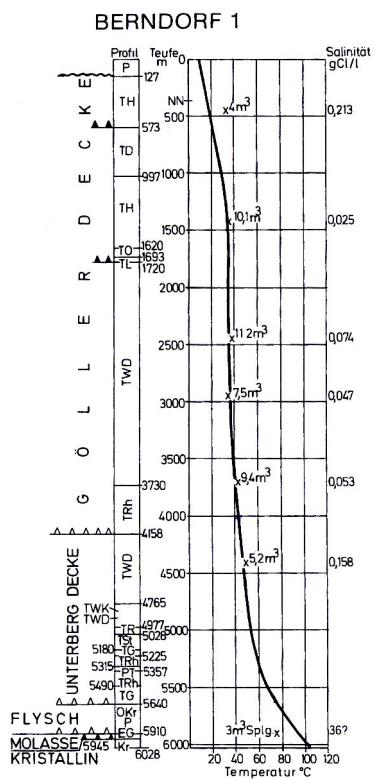


Abbildung 2.7 Temperatur-Tiefen Profil der Bohrung Berndorf 1, entnommen aus Wessely (1983)

3 Ausgangssituation im Wiener Becken

Aufgrund der geologischen und hydrologischen Gegebenheiten ist im Wiener Becken mit einem großen geothermischen Potenzial zu rechnen (siehe vorangegangenes Kapitel). Dies und die Tatsache, dass für das gesamte Wiener Becken bis heute kein umfassendes geothermisches Modell existiert, machen es notwendig sich mit dem thermischen Regime in dieser Region auseinanderzusetzen.

Die Literaturrecherchen, die im Zuge der Diplomarbeit durchgeführt wurden, ergaben, dass es immer wieder vereinzelte geothermische Untersuchungen im Gebiet des Wiener Beckens gegeben hat.

Aus den Temperaturdaten der Bohrungen in dieser Region ist von Boldiszar (1968) eine Gradientenkarte erstellt worden, wobei die Daten auf verschiedene Einflüsse (Spülung, Paläoklima) nicht korrigiert worden sind. Mit Hilfe dieser Daten, der Berechnung von thermischen Wärmeleitfähigkeiten, den Wärmeflussdaten für alpine Seen (Haenel & Zoth, 1973) und Temperaturmessungen im Molassebecken (Oberösterreich), konnte im Zuge der Erstellung einer terrestrischen Wärmeflusskarte für Europa der Wärmefluss in Österreich bestimmt werden (Cermak, 1979). Es standen jedoch keine Informationen aus dem Wiener Becken für die Wärmeflusskarte zur Verfügung. Auch Wessely (1983, 2006) beschäftigt sich immer wieder mit den geologischen, thermischen und hydrologischen Gegebenheiten im Wiener Becken. Die Folgerungen aus Wessely (1983) sind, dass bei geothermischen Modellierungen im Wiener Becken die Beschränkung auf rein konduktive Vorgänge nicht ausreichend ist.

Leutner (1990) und Gmeiner (1996) haben Temperaturverteilungskarten für unterschiedliche Tiefen für das Neogen im zentralen Bereich des Wiener Beckens (Tiefscholle) erarbeitet, wobei der Schwerpunkt bei Gmeiner (1996) nicht die Temperaturverteilungskarten waren, sondern die Korrektur von Bohrlochtemperaturen aus Messungen in diesem Gebiet. Die Ergebnisse aus Gmeiner (1996) wurden mit jenen aus Boldiszar (1968), also mit unkorrigierten Werten, verglichen.

Aus der Literaturstudie ist erkennbar, dass in Österreich die geothermischen Untersuchungen nur in lokaler Form vorhanden sind und sich auf Gebiete wie das Wiener Becken, das Steirische Becken (Sachsenhofer, 1993; Ebner & Sachsenhofer, 1991; Goldbrunner, 1987) und das Molassebecken (Kamyar, 2000; Goldbrunner & Johann, 1990; Zötl, 1980; Kunz, 1978) beschränken.

4 Allgemeine Geothermie

4.1 Physikalische und petrophysikalische Grundlagen

4.1.1 Temperatur T und Temperaturgradient

Die Temperatur T ist eine physikalische Zustandsgröße, die sowohl orts- als auch zeitabhängig ist. Sie ist ein Maß für die mittlere kinetische Energie der Moleküle (Tipler, 1994, S.523):

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}kT \quad (4.1)$$

Wobei k die Boltzmann Konstante ist und einen Wert von $1.381 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$ hat. Die SI-Einheit der Temperatur ist das Kelvin [K]. Die Umrechnung auf Celsius [$^{\circ}\text{C}$] lautet wie folgt (Tipler, 1994, S.514):

$$T[{}^{\circ}\text{C}] = T[\text{K}] - 273.15\text{K} \quad (4.2)$$

Alle Punkte in einem Raum und ihre jeweiligen Temperaturen bilden ein Temperaturfeld, welches ein Skalarfeld ist. Die Punkte eines solchen Feldes mit gleicher Temperatur (für die $T = \text{const.}$ gilt) bilden eine Niveaumenge (3D-Fall) bzw. eine Linie (2D-Fall). Diese Menge wird auch als Isothermenfläche und die Linie als Isotherme bezeichnet (Buntebarth, 1980).

Der Temperaturgradient ist eine vektorielle Größe und zeigt in Richtung der größten Änderung der Temperatur, also senkrecht auf die Isothermenflächen bzw. -linien. Die Einheit des geothermischen Gradienten ist [${}^{\circ}\text{C}/\text{km}$]. Im Durchschnitt hat der geothermische Gradient einen Wert von ca. $30 {}^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Der reziproke Wert des geothermischen Gradienten ist die geothermische Tiefenstufe.

4.1.2 Wärme

Die Wärme ist als Energie, die von einem Körper auf einen anderen aufgrund einer Temperaturdifferenz übergeht, definiert (Tipler, 1994, S.539). Die SI-Einheit ist Joule [J].

Im Allgemeinen führt eine Wärmezufuhr zu einer Temperaturerhöhung. Dies liegt jedoch nicht bei einem Phasenübergang vor. Da die Temperatur ein Maß für die kinetische Energie der Moleküle ist (siehe Kapitel 4.1.1), bedeutet eine Erhöhung der Temperatur einen Anstieg der kinetischen Energie. Beim Phasenübergang wird jedoch Arbeit für die Trennung der benachbarten Moleküle verwendet, also zur Erhöhung der potenziellen Energie und nicht der kinetischen. Aus diesem Grund bleibt beim Phasenübergang die Temperatur gleich (Tipler, 1994, S. 544). Die für die Umwandlung benötigte Wärmemenge wird als latente Wärme bezeichnet – Schmelz-, Verdampfungs-, Sublimations- und Kristallisationswärme (Tipler, 1994, S. 544). Die latente Wärme spielt wie auch die Temperaturänderung in geothermischen Prozessen eine wichtige Rolle. Ein Beispiel dafür wäre die flächenhafte Eisbildung, die im Bereich von Flachkollektoren auftritt, wenn die mittlere Temperatur des Arbeitsmittels falsch gewählt wird (ÖWAV-Regelblatt 207).

4.1.3 Wärmekapazität C und spezifische Wärmekapazität c

Die Wärmekapazität C ist eine Körpereigenschaft, die die Fähigkeit eines Körpers beschreibt Wärme aufzunehmen bzw. zu speichern. Sie entspricht der Wärmemenge Q, die notwendig ist, um den Körper um 1K oder 1°C zu erwärmen (Tipler, 1994, S.540):

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad (4.3)$$

Die SI-Einheit der Wärmekapazität ist [J/K].

Die spezifische Wärmekapazität c bezieht die Masse eines Körpers mit ein. Sie entspricht jenem Wärmebetrag der notwendig ist um 1kg eines Körpers um 1K bzw. 1°C zu erwärmen (Tipler, 1994, S.540):

$$c = \frac{1}{m} \frac{Q}{\Delta T} \quad (4.4)$$

Die SI-Einheit der spezifischen Wärmekapazität ist [J/kg K].

Für nicht poröse Gesteine beträgt der Wert für die spezifische Wärmekapazität ca. 800 J/kg K. Da Sedimentgesteine eine hohe Porosität aufweisen, haben sie auch einen höheren Wert als nicht poröse Gesteine. Bei gesättigten, porösen Gesteinen erhöht sich der Wert entsprechend der spezifischen Wärmekapazität der Porenfüllung (Buntebarth, 1980). Die spezifische Wärmekapazität ist auch von der Temperatur abhängig. In Tabelle 4.1 sind für einige Gesteine und Stoffe die spezifischen Wärmekapazitäten aufgelistet.

Tabelle 4.1 spezifische Wärmekapazität c [J/kg K] für einige Stoffe bei Zimmertemperatur ($T=20^\circ\text{C}$), entnommen aus Buntebarth (1980)

Material	c [J/kg K]
Sandstein	710
Kalksandstein	840
Ton	860
Steinkohle	1260
Petroleum	2100
Eis	2100
Wasser	4200
Luft	1000

4.1.4 Temperaturleitfähigkeit χ

Die Temperaturleitfähigkeit, auch thermische Diffusivität genannt, hat die Dimension [m^2/s] (Buntebarth, 1980):

$$\chi = \frac{\lambda}{\rho c} \quad (4.5)$$

Die thermische Diffusivität gibt das Verhältnis von Wärme, die gespeichert und transportiert werden kann, an. Des Weiteren gibt sie Auskunft über das Eindringvermögen einer Temperaturänderung in einem Medium, d.h. ein hoher

Wert beschreibt ein schnelles und tiefes Eindringen einer Temperaturwelle und umgekehrt (Kappelmeyer, 1974).

4.1.5 Wärmeleitfähigkeit λ

Die Wärmeleitfähigkeit λ ist eine wichtige physikalische Größe. Sie sagt aus, wie viel Zeit für den Wärmetransport in einem Körper benötigt wird und somit wie gut ein Körper Wärme übertragen kann. Die Wärmeleitfähigkeit in einem 1D Wärmeleiter ist für den stationären Zustand der Wärmeleitung (Fourier Gesetz) wie folgt definiert (Buntebarth, 1980):

$$\lambda = \frac{q}{\nabla T} \quad (4.6)$$

$$\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right) \dots \text{Nabla-Operator}$$

Die SI-Einheit der Wärmeleitfähigkeit ist [W/(mK)]. Diese Materialeigenschaft ist von mehreren Faktoren abhängig:

- Art des Gesteins
- Richtung (\rightarrow Anisotropie)
- Temperatur
- Druck (im Bereich der oberen Kruste jedoch vernachlässigbar klein)
- Porosität (in sedimentären Schichten druckabhängig infolge des steigenden Auflastdrucks mit zunehmender Tiefe)

In Tabelle 4.2 sind Wärmeleitfähigkeitswerte für verschiedene Gesteine aufgelistet. Die Bandbreite der Wärmeleitfähigkeit für Gesteine ist weitaus geringer als jene der elektrischen Leitfähigkeit.

Tabelle 4.2 Wärmeleitfähigkeitswerte für einige Gesteine, entnommen aus Götzl et al. (2009)

Gestein	Wärmeleitfähigkeit [W/(m K)]
Kies (trocken)	0,40
Kies (wassergesättigt)	1,80
Sand (trocken)	0,40
Sand (wassergesättigt)	2,40
Sandstein	2,09
Sandstein (wassergesättigt)	2,46
Ton (trocken)	0,45
Ton (wassergesättigt)	1,40
Tonstein	1,96
Konglomerat	2,80
Mergel	2,10
Kalk	2,67
Dolomit	3,22
Gneis	2,70

4.1.5.1 Temperatur- und Porositätsabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit im Untergrund beruht auf zwei Effekten. Der erste ist die Gitter- bzw. Phononenwechselwirkung (Phononenleitfähigkeit) und der zweite Effekt ist die Migration von freien Elektronen (Leitfähigkeit durch Strahlung). Die gesamte Wärmeleitfähigkeit eines Gesteins ergibt sich aus der Aufsummierung dieser beiden Leitfähigkeiten (Buntebarth, 1980).

Im Temperaturbereich von ca. 25 °C bis einigen hundert Grad Celsius überwiegt die Phononenleitfähigkeit, welche umgekehrt proportional zur Temperatur ist und dies somit zu einer Abnahme der Wärmeleitfähigkeit bei höheren Temperaturen führt (siehe Tabelle 4.3). Bei noch höheren Temperaturen (untere Kruste und oberer Mantel) muss jedoch die Leitfähigkeit durch Strahlung mitberücksichtigt werden. Sie ist proportional zur Temperatur (Buntebarth, 1980).

Tabelle 4.3 Temperaturabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von Gesteinen, entnommen aus Kappelmeyer & Haenel, 1974

Gestein	Wärmeleitfähigkeit [W/(m K)]				
Temperatur	0°C	50°C	100°C	200°C	300°C
Granit	3,52	3,27	3,01	2,70	2,45
Dolomit	4,98	4,31	3,89	3,33	
Kalkstein	3,01	2,57	2,32	2,00	
Schiefer	2,05	2,01	1,88	1,63	1,47

Die Korrektur der Temperaturabhängigkeit kann mit Hilfe des empirischen Ansatzes von Sass et al. (1992) durchgeführt werden:

$$\lambda(T) = \frac{\lambda(0)}{1,007 + T_{\text{Form}} \cdot \left(0,0036 - \frac{0,0072}{\lambda(0)} \right)} \quad (4.7)$$

Die hypothetische Wärmeleitfähigkeit des Gesteins bei 0 °C ergibt sich aus (Sass et al., 1992):

$$\lambda_0 = \lambda(25^\circ\text{C}) \left[1.007 + 25 \left(0.0037 - \frac{0.0074}{\lambda(25^\circ\text{C})} \right) \right] \quad (4.8)$$

Im Temperaturintervall von 0° bis 200 °C beträgt die Genauigkeit dieser Prognose ca. 95 %. Für die Korrektur stehen auch andere Verfahren (Seipold, 2001; Kutas & Gordienko, 1973) zur Verfügung, jedoch sind sie aufwendiger und liefern keine wesentlich exaktere Prognose als das Verfahren nach Sass et al. (1992).

Da die effektive Wärmeleitfähigkeit des Gesteines auch von der Porosität und des Porenfluids abhängig ist, müssen Porositätsmodelle für den Untergrund erstellt werden. Im Rahmen des Projektes „THERMALP“ wurden auf der GBA solche Modelle für tektonische Großeinheiten (im Wiener Becken) in Abhängigkeit von der Tiefe erstellt. Die Verteilung der Porositätswerte mit der Tiefe wurde durch

eine Exponentialfunktion angenähert. In den Festgesteinseinheiten des Beckenuntergrundes ändert sich die Porosität mit zunehmender Tiefe kaum.

Die Einflüsse durch Temperatur- und Porositätsänderungen sollten bei der Erstellung von Modellen der Wärmeleitfähigkeit mitberücksichtigt werden, da sich ansonsten bei der thermischen Modellierung des Untergrundes ein verfälschtes Bild ergibt. Bei der automatisierten Temperaturprognose (siehe Kapitel 5.3.3) ist die effektive Wärmeleitfähigkeit auf diese Abhängigkeiten korrigiert worden.

4.1.6 Wärmefluss Φ und Wärmeflussdichte q

Der Wärmefluss entspricht der zeitlichen Änderung der Wärme (Tipler, 1994, S.546):

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \quad (4.9)$$

Der Wärmefluss Φ hat die Dimension [W] bzw. [J/s].

Die Wärmeflussdichte q (vektorielle Größe) ist der Wärmefluss der pro m^2 Querschnittsfläche in einem Körper fließt (Buntebarth, 1980):

$$\vec{q} = -k\vec{V}T \quad (4.10)$$

Die Wärmeflussdichte hat die Dimension [W/m^2].

Die Wärmeflussdichte aus Gleichung 4.10 ist auch als Fourier Gesetz der Wärmeleitung bekannt und wird im Kapitel 4.1.7 hergeleitet.

Der terrestrische Wärmestrom ist die an die Erdoberfläche gerichtete Wärmeflussdichte im Untergrund. Der durchschnittliche Wert für die kontinentale

Kruste beträgt ca. 60mW/m^2 und für die ozeanische Kruste 76mW/m^2 . In Mitteleuropa sind im Rheingraben und dem Pannonischen Becken positive Anomalien ($>100\text{mW/m}^2$) zu finden (Kohl, 2002).

4.1.7 Wärmeleitungsgleichung

Die Wärmeleitungsgleichung bei Vernachlässigung der radiogenen Wärmequellen (auch Fourier Gesetz genannt) ist im vorangegangenen Kapitel (Gleichung 4.10) definiert worden.

Um den Wärmetransport im Untergrund zu verstehen, ist es wichtig die Temperaturverteilung zu kennen. Die Temperaturverteilung wird aus der Lösung der Differentialgleichung mit vordefinierten Anfangs- und Randbedingungen bestimmt.

Man nehme einen homogenen Körper mit der Temperaturverteilung $T(x,y,z)$ im kartesischen Koordinatensystem an. Zuerst wird innerhalb des Körpers ein infinitesimal kleines Volumen $dx \cdot dy \cdot dz$ definiert (Abbildung 4.1). Um den ersten Satz der Thermodynamik² (entspricht dem Energieerhaltungssatz) für dieses Volumen formulieren zu können, ist es notwendig die Prozesse, die bei der Wärmeleitung auftreten, zu berücksichtigen. Bei Vorhandensein von Temperaturgradienten findet die Wärmeleitung senkrecht auf die Oberflächen des Volumens statt.

² 1.Satz der Thermodynamik: „Die dem System zugeführte Wärme Q ist die Differenz der Änderung seiner inneren Energie ΔU und der von ihm verrichteten Arbeit W : $Q= \Delta U - W$ “(siehe Tipler, 1994, S.556)

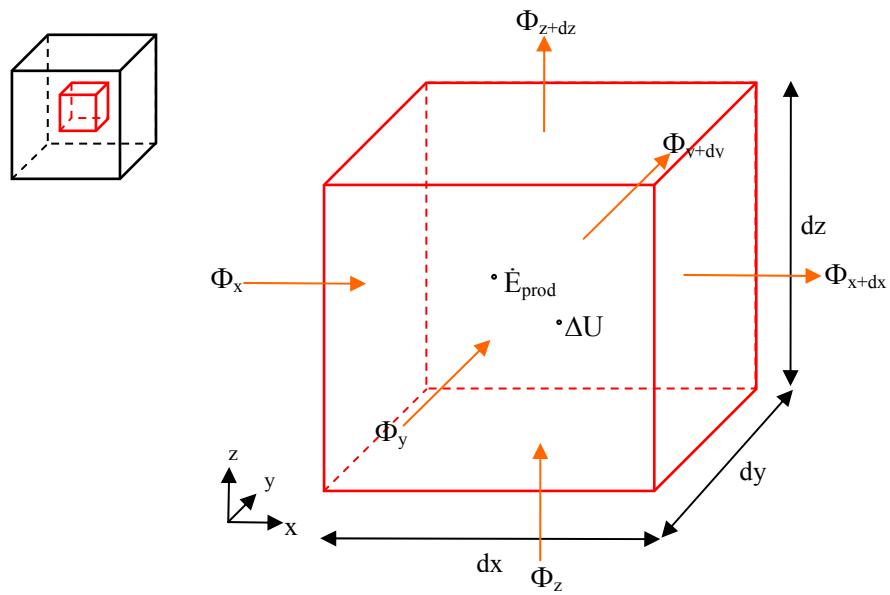


Abbildung 4.1 Wärmezuh- und abfuhr in einem infinitesimal kleinen Volumen $dx dy dz$, entnommen aus Incopera et al., 2007, S.70

Der Wärmefluss, der in das Volumen senkrecht auf die Flächen eintritt, wird als Φ_x , Φ_y und Φ_z bezeichnet. Der Wärmefluss, der aus dem Volumen austritt (auf gegenüberliegenden Seite), kann mit einer Taylor Reihenentwicklung beschrieben werden, wobei die Terme höherer Ordnung vernachlässigt werden (Incorpera et al., 2007, S. 71ff):

$$\begin{aligned}\Phi_{x+dx} &= \Phi_x + \frac{\partial \Phi_x}{\partial x} dx \\ \Phi_{y+dy} &= \Phi_y + \frac{\partial \Phi_y}{\partial y} dy \\ \Phi_{z+dz} &= \Phi_z + \frac{\partial \Phi_z}{\partial z} dz\end{aligned}\tag{4.11}$$

Es besteht die Möglichkeit, dass sich innerhalb des Mediums Wärmequellen befinden, sodass die Wärmeproduktionsrate wie folgt lautet (Incorpera et al., 2007, S. 71ff):

$$\dot{E}_{prod} = Adxdydz\tag{4.12}$$

Wobei A die Wärmeproduktionsrate pro Volumeneinheit ist und die Einheit [W/m^3] hat. Der Term ist positiv, wenn sich im Volumen eine Wärmequelle befindet, die Wärme generiert und ist negativ, wenn sich eine Senke im Volumen befindet, die Wärme aufnimmt. Zusätzlich können Änderungen der inneren Energie auftreten (Incorpera et al., 2007, S. 71ff):

$$\Delta U = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dx dy dz \quad (4.13)$$

Wobei c_p die spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck ist.

Bei Mitberücksichtigung der zugeführten und abgeführten Energie \dot{E}_{in} und \dot{E}_{out} , ist der Energieerhaltungssatz wie folgt definiert (Incorpera et al., 2007, S. 71ff):

$$\dot{E}_{in} + \dot{E}_{prod} + \dot{E}_{out} = \Delta U \quad (4.14)$$

Durch substituieren der Gleichungen (4.11) bis (4.13) in Gleichung (4.14) ergibt sich (Incorpera et al., 2007, S. 71ff):

$$\Phi_x + \Phi_y + \Phi_z + A dx dy dz - \Phi_{x+dx} - \Phi_{y+dy} - \Phi_{z+dz} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dx dy dz \quad (4.15)$$

Durch weiteres Substituieren mit Hilfe der Gleichungen (4.11) vereinfacht sich Gleichung (4.15) zu (Incorpera et al., 2007, S. 71ff):

$$-\frac{\partial \Phi_x}{\partial x} dx - \frac{\partial \Phi_y}{\partial y} dy - \frac{\partial \Phi_z}{\partial z} dz + A dx dy dz = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dx dy dz \quad (4.16)$$

Der Wärmefluss in x , y und in z -Richtung kann durch folgende Gleichung bestimmt werden (Incorpera et al., 2007, S. 71ff):

$$\begin{aligned}\Phi_x &= -\lambda dydz \frac{dT}{dx} \\ \Phi_y &= -\lambda dxdz \frac{dT}{dy} \\ \Phi_z &= -\lambda dxdy \frac{dT}{dz}\end{aligned}\tag{4.17}$$

Wenn nun letztere Gleichung in Gleichung (4.16) eingesetzt wird, ergibt sich die Wärmeleitungsgleichung in allgemeiner Form für das kartesische Koordinatensystem (Incorpera et al., 2007, S. 71ff):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + A = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t}\tag{4.18}$$

Die ersten drei Terme auf der linken Seite der Gleichung (4.18) entsprechen gerade dem Nettobetrag der Wärmeflussdichte in x-, y- bzw. z-Richtung, d.h., dass in einem beliebigen Punkt innerhalb des Volumens der Nettobetrag der Wärmeflussdichte und die Wärmeproduktionsrate im Gleichgewicht mit der Änderung der inneren Energie sein muss (Incorpera et al., 2007, S. 71ff). Die Gleichung kann durch Einsetzen der Temperaturleitfähigkeit χ und durch die Annahme, dass die Wärmeleitfähigkeit λ isotrop (dies ist jedoch im Allgemeinen nicht der Fall) ist vereinfacht dargestellt werden (Incorpera et al., 2007, S. 71ff):

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{A}{\lambda} = \frac{1}{\chi} \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{oder} \quad \Delta T + \frac{A}{\lambda} = \frac{1}{\chi} \frac{\partial T}{\partial t}\tag{4.19}$$

$$\Delta = \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \dots \text{Laplace-Operator}$$

Im Falle eines stationären Zustands lautet die Wärmeleitungsgleichung oder Poisson Differentialgleichung wie folgt (Incorpera et al., 2007, S. 71ff):

$$\Delta T + \frac{A}{\lambda} = 0 \quad (4.20)$$

Und im Falle der Quellenfreiheit, ergibt sich die Laplace Differentialgleichung (Incorpera et al., 2007, S. 71ff):

$$\Delta T = 0 \quad (4.21)$$

Die Lösung der allgemeinen Wärmeleitungsgleichung (4.18) führt zur gesuchten Temperaturverteilung.

Im zylindrischen Koordinatensystem sieht die Wärmeleitungsgleichung wie folgt aus (Incorpera et al., 2007, S. 71ff):

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda_r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + A = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4.22)$$

Da die Bohrung am ehesten der geometrischen Form eines Zylinders entspricht und bei den Korrekturverfahren zumeist eine Zylinderquelle verwendet wird, erfolgt die Lösung der Differentialgleichung aus praktischen Gründen im Zylinderkoordinatensystem.

Die Lösung der Gleichung ist jedoch von Anfangs- und Randbedingungen abhängig. Im Allgemeinen ergeben sich drei Arten von Randbedingungen für die Oberfläche ($x = 0$) beim 1D-Fall (Incorpera et al., 2007, S. 71ff):

- Konstante Oberflächentemperatur (Dirichlet-Problem oder 1. Randwertaufgabe der Potenzialtheorie)
- Konstanter Wärmestrom an der Oberfläche (Neumann-Problem oder 2. Randwertaufgabe der Potenzialtheorie); Spezialfall: adiabatische oder isolierte Oberfläche bei der der Temperaturgradient verschwindet
- Konvektion auf der Oberfläche (3. Randwertaufgabe)

4.2 Wärmetransport

Die Übertragung von Wärme kann auf drei verschiedene Arten zustande kommen, nämlich durch Wärmeleitung, Konvektion (freie Konvektion und Advektion) und Wärmestrahlung. Die Wärmebilanzgleichung oder auch allgemeine Wärmeleitungsgleichung, die zwei von drei dieser Arten der Wärmeübertragung beschreibt wurde in Kapitel 4.1.7 hergeleitet.

Die verallgemeinerte volumsbezogene Wärmebilanzgleichung eines fluiddurchsetzten Gebirgsblocks lautet wie folgt (Kohl, 1995):

$$\langle c_p \cdot \rho \rangle_{\text{eff}} \frac{dT}{dt} = \nabla \left[\langle \lambda \rangle_{\text{eff}} \nabla T \right] - \langle c_p \cdot \rho \rangle_f \vec{v} \cdot \nabla T - h \cdot \Delta T - (\sigma \cdot \varepsilon \cdot \nabla T^4) - A \quad (4.22)$$

Der zweite und dritte Term auf der rechten Seite der Gleichung beschreiben den konvektiven Anteil (frei und erzwungen). Der vierte Term auf der rechten Seite beschreibt die Wärmestrahlung.

4.2.1 Wärmeleitung

Bei der Wärmeleitung wird der Transport der Wärme innerhalb eines Mediums durch die Wechselwirkung zwischen Atomen oder Molekülen übertragen, wobei diese ortsfest bleiben. Durch die Erwärmung des Mediums haben die Atome oder Moleküle eine höhere thermische Bewegungsrate und übertragen durch Aneinanderstoßen die Energie. Der Transport erfolgt in diesem Fall von Bereichen höherer Temperatur zu Bereichen niedriger Temperatur (Tipler, 1994).

Die Wärmeleitung kann in flüssigen, gasförmigen und festen Körpern auftreten, wobei feste Medien eine bessere Wärmeübertragung zeigen als flüssige bzw. gasförmige Medien. Metalle sind aufgrund ihrer freien Elektronen sehr gute Wärmeleiter (Tipler, 1994).

Die Wärmeleitfähigkeit gibt an, wie gut ein Medium die Energie über Wärmeleitung übertragen kann. In anisotropen Körpern ist dieser Parameter keine skalare Größe, sondern ein Tensor (Kappelmeyer, 1974).

In der Erdkruste findet hauptsächlich diese Art der Wärmeübertragung statt (Kappelmeyer, 1974).

4.2.2 Konvektion und Advektion

Im Gegensatz zur Wärmeleitung ist bei dieser Art der Wärmeübertragung ein Materialtransport für die Übertragung der Energie verantwortlich, wobei zwischen Konvektion und Advektion (erzwungene Konvektion) zu unterscheiden ist.

Die freie Konvektion erfolgt durch eine thermisch bedingte Dichteänderung (Tipler, 1994). Ein Beispiel für diesen Mechanismus findet sich im Erdmantel und im äußeren Erdkern, wo sich Konvektionszellen bilden können, die einen Grund für die tektonische Plattenbewegungen darstellen. Außerdem können sich solche Konvektionszellen in Thermalwässern bilden (Kohl, 2002).

Die Advektion bzw. erzwungene Konvektion findet nicht aufgrund von Dichteunterschieden statt, sondern wegen eines Druckgradienten, der durch Topographieänderungen oder hydraulische Potenzialunterschiede (Einwirken einer äußeren Kraft) verursacht wird (Kohl, 2002).

4.2.3 Wärmestrahlung

Diese Art der Wärmeübertragung wird durch elektromagnetische Strahlung, die jeder Körper abstrahlt, generiert. Obwohl die thermische Strahlung auch in Gasen und Flüssigkeiten auftreten kann, beschränken wir uns ausschließlich auf die festen Stoffe. Die Emission von Strahlung hängt mit der Änderung der Elektronenkonfiguration eines Atoms bzw. Moleküls zusammen. Während der Emission wird die Energie mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen übertragen. Die Wärmestrahlung findet hauptsächlich im Infrarotbereich des Spektrums statt (Incorpera et al., 2007).

Die Wärmestrahlung eines schwarzen Körpers ist laut dem Stefan-Boltzmann Gesetz von der 4ten Potenz der Temperatur abhängig und ist in Bereichen mit hohen Temperaturen (z.B. tiefer Erdmantel) eine wichtige Mechanismus für die Wärmeübertragung (Incorpera et al., 2007):

$$E = \sigma T_s^4 \quad (4.23)$$

Die Temperatur T_s ist die absolute Oberflächentemperatur des Körpers [K] und σ ist die Stefan-Boltzmann Konstante, die einen Wert von $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$ hat. Die Wärmestrahlung eines realen Körpers ist geringer als die des schwarzen Körpers (Incorpera et al., 2007):

$$E = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad (4.24)$$

Die Emissivität ε ist eine Strahlungseigenschaft der Körperoberfläche und variiert zwischen Null und Eins. Sie beschreibt wie effektiv aus einem bestimmten Körper elektromagnetische Strahlen im Vergleich zu einem schwarzen Körper emittieren.

4.3 Wärmequellen

Der terrestrische Wärmestrom wird von Wärmequellen beeinflusst, welche sowohl intraterrestrischer – (geogener) als auch extraterrestrischer Natur (z.B. solare Einstrahlung) sind. Der Begriff Quelle ist eventuell irreführend, da keine physikalischen Quellen im eigentlichen Sinn gemeint sind, sondern der Wärmeaustausch an Systemgrenzen (in diesem Fall die Erdoberfläche). Die Bedeutung der unterschiedlichen Wärmequellen auf den zu beobachtenden terrestrischen Wärmestrom an der Erdoberfläche ist laut Kappelmeyer (1974) an folgende Bedingungen geknüpft:

- Große Menge an Quellen
- Lange und effektive Wärmeproduktion (etwa Alter der Erde)

4.3.1 Externe Quellen

Zu den externen Quellen der Erde zählen die Sonnenstrahlung und die Energie, die sich aus der Gezeitenreibung ergibt.

Die Sonnenstrahlung hat nur einen geringen Einfluss auf den Wärmestrom im Untergrund, weil der Großteil entweder reflektiert, gestreut oder von der Atmosphäre absorbiert wird. Der Anteil der Sonnenstrahlung, der die

Erdoberfläche erreicht, dringt zudem nur in geringe Tiefen der Erde ein (einige Zentimeter bis Meter), sodass die Strahlung nur auf den oberflächennahen Bereich einen signifikanten Einfluss ausübt. Der Einfluss der terrestrischen Wärmestromdichte auf die Erdoberflächentemperatur ist aus diesem Grund sehr gering (Kappelmeyer, 1974). Die Eindringtiefe der Lufttemperatur ist von der Periodenlänge der Temperaturschwankung (analog zum Skineffekt) abhängig (Buntebarth, 1980).

Die Wärme, die sich aus der Umwandlung der Gravitationsenergie ergibt, trägt ebenfalls nur sehr wenig zum terrestrischen Wärmestrom bei (Kappelmeyer, 1974).

4.3.2 Interne Quellen

Die Erde gewinnt ihre Wärme im Inneren aus verschiedenen Quellen, wobei nur eine von ihnen – die radiogene Wärme – die Bedingungen erfüllt, die von Kappelmeyer (1974) definiert worden sind. Zu diesen Quellen zählen:

- radiogene Wärme
- Wärme, die durch die Erdentstehung erzeugt wurde
- Reibungswärme infolge von Erdbeben
- Wärme, die sich aus der Entstehung von neuer Kruste ergibt (Freisetzung latenter Wärme bei Phasenumwandlung)
- Wärme, die bei chemischen Prozessen im Untergrund frei wird

Der Hauptanteil der terrestrischen Wärmeflussdichte kommt durch die radiogenen Quellen zustande. Während des radioaktiven Zerfalls von ^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K (Halbwertszeit entspricht dem Alter der Erde) wird der größte Teil der Energie in Wärme umgewandelt, sodass diese Prozesse die geothermischen Quellen darstellen.

Die Wärmeproduktion eines Gesteines kann über die Konzentration der zuvor genannten Isotope bestimmt werden. Die radiogene Wärmeproduktion ist in sauren magmatischen Gesteinen sehr hoch und in ultrabasischen Gesteinen sehr

gering. Damit ergibt sich, dass die Produktion mit der Tiefe abnimmt, da die Gesteine immer basischer werden. Die radiogene Wärmeproduktion ist in der kontinentalen und ozeanischen Kruste unterschiedlich. Sie ist im Bereich der kontinentalen Kruste weitaus größer, da die ozeanische Kruste sich hauptsächlich aus basischen bis ultrabasischen Gesteinen zusammensetzt und eine geringere Mächtigkeit besitzt (Kappelmeyer, 1974).

Die anderen Quellen tragen nur einen geringen Teil (ca. 1/5) zum terrestrischen Wärmestrom bei, sodass sie nahezu vernachlässigbar sind (Clauser, 2006).

5 Bestimmung und Korrektur von Temperaturdaten aus KW-Bohrungen

5.1 Verfahren zur Temperaturbestimmung

Die Messung der Temperatur erfolgt im Allgemeinen durch ein Thermometer, das in einer Messsonde eingebaut ist. Es gibt unterschiedliche Arten von Thermometern (Quecksilber-, Quarz- und elektrische Thermometer oder Thermoelemente), je nach Aufgabenaufstellung bzw. Problem wird eines davon verwendet. Die Temperurmessung kann entweder kontinuierlich oder an diskreten Punkten im Bohrloch durchgeführt werden. Eine spezielle Konstruktion erlaubt die Messung von maximalen Werten (Maximumthermometer). Da die Temperatur mit der Tiefe zunimmt, wird angenommen, dass die maximale auftretende Temperatur am tiefsten Punkt im Bohrloch (Bohrsohle) gemessen wird (Kappelmeyer, 1974). Die maximale gemessene Temperatur wird auch Bottom Hole Temperature (BHT) genannt.

5.1.1 Temperatur- und ZKB-Log

Diese Temperurmessung wird kontinuierlich durchgeführt und die Messsonde (auch Log genannt) wird von oben nach unten („downhole“) mit konstanter Geschwindigkeit in das Bohrloch eingefahren. Die Messungen werden ausgeführt um die Temperatur zu bestimmen, um Flüssigkeitseintritte und –austritte (Spülungsverlust) festzustellen und um die Zementoberkante der Verrohrung zu ermitteln (Zementkopfbestimmungs-Log). Dies ist möglich, da bei der Verhärtung des Zementes (latente) Wärme freigesetzt wird (Horvath, 1993).

Das Problem bei den Temperatur- bzw. ZKB-Logs ist, dass die Stillstandzeit der Bohrung sehr gering (maximal einige Tage) ist und dadurch nicht der korrekte Verlauf der Gebirgstemperatur gemessen wird. Im oberen Bereich der Bohrung ist eine aufgewärmte Zone, dann folgt eine Zone des Stagnierens und im unteren Bereich der Bohrung ist ein normaler Anstieg der Temperatur auf den Logs zu

sehen. Der Grund dafür liegt darin, dass die Spülung dem umgebenden Gestein in größerer Tiefe Wärme entzieht und beim Aufwärtsfließen entlang der Bohrlochwand die Wärme wieder abgibt.

5.1.2 Formationstest in KW-Explorationsbohrungen

Der Formationstest (engl. Drill Stem Test – DST) wird im verrohrten (Casingtest) oder unverrohrten (Open Hole Test) Bohrloch durchgeführt und ist ein Produktionsversuch. Diese Tests geben Informationen über eventuell vorhandene KW-Lagerstätten im Untergrund (Strauch & Kremser, 1993). Beim Test im unverrohrten Bohrloch werden in der Tiefe, in der die Lagerstätte erwartet wird, auch Temperaturmessungen durchgeführt. Ein Vorteil dieser Temperaturwerte ist, dass der hydraulische Formationstest erst nach langer Stillstandzeit des Bohrloches erfolgt, sodass die gemessene Temperatur annähernd der Gebirgstemperatur entspricht. Außerdem wird die Temperatur des in den Tester eintretenden Formationsfluids gemessen.

Bei hydraulischen Formationstests können aufgrund von Gaszutritten (adiabatische Abkühlung durch Expansion) und dichten Formationen (Wiedereintritt der Spülung in den Tester) während der Messung Fehler auftreten.

5.1.3 Geophysikalische Bohrlochmessungen

Die Ermittlung der Temperatur aus den geophysikalischen Messmethoden im Bohrloch erfolgt entweder direkt oder indirekt. Beim direkten Verfahren wird während jeder Messung der maximale Wert der Temperatur im Zuge der Bohrlochbefahrung aufgezeichnet, wobei die Lage dieses Temperaturwerts der Sohle des Messintervalls gleichgesetzt wird. Der beobachtete Bottom-Hole-Temperaturwert wird auf dem Header des geophysikalischen Logs festgehalten, wobei die BHT-Werte von verschiedenen Einflüssen abhängig sind und in Kapitel 5.2 ausführlich beschrieben werden.

Die geophysikalischen Sonden, aus denen die für die Diplomarbeit benötigten BHT-Werte entnommen wurden, sind in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet.

Tabelle 5.1 BHT-Daten aus folgenden geophysikalischen Bohrlochmessungen

	Abkürzung
Widerstands- und Eigenpotentialmessung (Standardelektriklog)	CE
Akustische Messung (Ultraschallmessung)	SL, BHC
Elektrische Widerstandsmessung	EL, ML, MLL, LL3, DLL
Elektrische Induktionsmessung	IEL, DIL
Eigenpotenzialmessung	SP
Gammastrahlungsmessung	GR
Neutronmessung	CNL
Dichtemessung	LDL
Schichtneigungsmessung	CDM, HDT
Kalibermessung	KAL

5.1.4 Indirekte Methoden

Beim indirekten Verfahren ist der Zugang zum Untergrund nicht gegeben, sodass Temperaturmessungen nicht durchführbar sind. Eine Abschätzung der Temperatur des Untergrundes erfolgt aus den Ergebnissen geophysikalischer Messungen. In der Gravimetrie wird angenommen, dass sich Schwereanomalien aus Dichtekontrasten ergeben. Ein Dichtekontrast kann aber auch auf eine temperaturbedingte Inhomogenität zurückgeführt werden. Um eine Approximation des Temperaturfeldes aus den gravimetrischen Messungen abzuleiten, ist eine genaue geologische Kenntnis notwendig und die thermische Anomalie sollte im Groben bekannt sein (Buntebarth, 1980). In der Geoelektrik ist die zu bestimmende elektrische Leitfähigkeit ein temperaturabhängiger Parameter. Eine Änderung der elektrischen Leitfähigkeit kann durch hydrothermale Systeme, höhere Temperaturen im Untergrund und erhöhtem Wärmefluss verursacht werden. Aus der Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit ist es möglich eine Temperaturverteilung im Untergrund abzuschätzen (Wright et al., 1985).

Die Magnetik ist, wie auch die anderen geophysikalischen Verfahren, mit geothermischen Anomalien gekoppelt. In der Magnetik kann ein Abfall der Magnetisierung eines Gesteins auf den Einfluss von hydrothermalen Systemen hindeuten (Wright et al., 1985).

Auch mit Hilfe von verschiedenen Verfahren aus der Seismik ist eine Verknüpfung mit der Geothermie möglich. Bei EGS-Systemen werden die Gesteinsformationen im Untergrund hydraulisch stimuliert, sodass thermische Reservoirs generiert werden. Während der Stimulation und des Produktionsvorgangs kommt es zu induzierten seismischen Ereignissen. Die Beobachtung dieser Ereignisse ist für das Verständnis der auftretenden Mechanismen, die zur induzierten Seismizität führen, wichtig. Dies würde zum einen zu einer Verbesserung der EGS-Anlagen führen und zum anderen würde die Geothermie zur Energiegewinnung attraktiver werden (Majer et al., 2007). Es gibt zum Auftreten von solchen Ereignissen mehrere Theorien (Majer et al., 2007):

- Anstieg des Porendrucks: Anstieg des Fluiddrucks in den Poren kann zu Spannungen führen → induzierte Seismik
- Temperaturabfall: niedrige Fluidtemperatur und heißes Gestein können zur Kontraktion der Rissflächen führen → induzierte Seismik
- Volumsänderung durch Injektion: Das injizierte Fluid führt zu einer Volumsänderung, welche eine Störung des Spannungszustands bewirken kann
- Chemische Änderungen an Rissflächen: Zufluss eines anderen Fluides in die Formation kann zu einer Änderung des Reibungskoeffizienten und somit zu Mikroerdbeben führen

Mikrobeben werden ebenfalls untersucht, da sie mit Konvektionssystemen gekoppelt sind. Eine Änderung der P-Wellengeschwindigkeit kann ebenfalls mit einem geothermalen System zusammenhängen. Die Refraktions- bzw. Reflexionsseismik kann bei der Bestimmung des Wasserspiegels verwendet werden (Wright et al., 1985).

Die physikalischen Parameter, die aus diesen Verfahren bestimmt werden, sind stark materialabhängig, sodass die Anomalien nur in geringem Maße von der Temperatur beeinflusst werden. Es ist nicht möglich die Effekte, die sich aus der Temperatur ergeben, aus der Interpretation individueller Verfahren zu bestimmen, jedoch sind sie aus der Kombination der geophysikalischen Verfahren ermittelbar (Buntebarth, 1980). Diese geophysikalischen Verfahren werden bei der geothermischen Exploration hauptsächlich als Hilfsmittel verwendet, mit denen geologische Strukturen, Intrusionen, Störungszonen, etc. bestimmt werden können und die zu einem besseren Verständnis der geothermischen Gegebenheiten im Untergrund führen.

Die indirekten Methoden zur Bestimmung der Temperaturverhältnisse im Untergrund wurden für die Diplomarbeit nicht angewendet, da diese Hilfsmittel nicht zur Verfügung standen.

5.2 Einflüsse auf die Formationstemperatur

Eine Vielzahl verschiedener Faktoren beeinflusst die Gebirgstemperatur, sodass die gemessenen Temperaturen in Bohrungen maskiert werden. Zu den Einflüssen zählen:

- die Bohrspülung
- die lokale Topographie
- die hydrodynamischen Systeme im Untergrund
- das Paläoklima

5.2.1 Bohrspülung

Die Bohrungen, die für die Diplomarbeit verwendet wurden, sind Kohlenwasserstoff-Explorationsbohrungen der OMV AG. Sie sind teleskopartig abgeteuft und es wird bis zur gewünschten Endteufe in Etappen gebohrt und verrohrt.

Während des Bohrvorgangs ist es nötig das Bohrklein mit Hilfe der Bohrspülung an die Oberfläche zu transportieren. Andere wichtige Aufgaben der Spülung, dessen Hauptbestandteil Wasser ist, sind die Abkühlung des Rollenmeißels (Bohrkopf), die Reinigung der Bohrlochsohle, die Kontrolle des Druckes der durchteuften Schichten und die Stabilisierung der Bohrlochwand (Spörker, 1993). Aufgrund der Zirkulation der Spülung wird nicht nur der Rollenmeißel, sondern auch das umgebende Gestein abgekühlt. Die Spülung nimmt die durch das Zerkleinern des Gesteins entstehende Wärme auf und gibt sie im oberen Bereich der Bohrung wieder an die umgebende Formation ab (Buntebarth, 1980). Der Bohrvorgang stellt somit eine Störung des Temperaturfeldes im Untergrund dar. Nach Beendigung des Bohrens würde sich ein Temperaturlgleichgewicht erst nach einigen Wochen bzw. Monaten einstellen. Die bohrlochgeophysikalischen Messungen, aus denen die BHT-Werte erhalten werden, finden jedoch schon spätestens einige Stunden nach Abschluss der Bohrtätigkeit statt. Es ergeben sich dadurch verfälschte BHT-Werte, die korrigiert werden müssen bevor Aussagen über das Temperaturverhältnis im Untergrund gemacht werden können (McPherson & Chapman, 1996).

Auf die Verfahren, die für die Korrektur des Spülungseinflusses im Rahmen der Diplomarbeit verwendet wurden, wird im nachfolgenden Kapitel (5.3) näher eingegangen.

5.2.2 Topographie

Einen weiteren Einfluss auf die Temperatur im Untergrund übt die lokale Topographie aus. Bei einer ebenen Oberfläche und einem homogenen und isotropen Untergrund verlaufen die Isothermen (siehe Kapitel 4.1.1) parallel zur Erdoberfläche und somit verschwindet die horizontale Komponente des Temperaturgradienten.

Eine ebene Fläche ist eine vereinfachte Annahme der Erdoberfläche und tritt in der Realität nur bedingt auf. Dies hat zu Folge, dass die Isothermen nicht mehr parallel zur Oberfläche verlaufen und ein endlicher Horizontalgradient vorliegt.

Die Topographie eines Berges führt dazu, dass der Temperaturgradient im Vergleich zum Gradienten, der sich unter einer ebenen Oberfläche ergibt, geringer ist und sich dadurch die Abstände zwischen den Isothermen vergrößern. Bei Tälern ist der Gradient größer im Vergleich zum Temperaturgradienten unter einer ebenen Fläche. Die Isothermen werden in diesem Fall gestaucht, sodass der Abstand zwischen den Isothermen geringer wird (Henry & Pollack, 1985).

Der Einfluss, der sich aus der Topographie ergibt, kann mit Hilfe der Laplace Differentialgleichung (wenn Quellenfreiheit gegeben ist) bzw. der Poisson Differentialgleichung (radiogene Quellen) beschrieben werden (Buntebarth, 1980).

Das am häufigsten verwendete Verfahren, das die Differentialgleichungen löst, ist das Verfahren von Birch (1950, zitiert in: Henry & Pollack, 1985). Bei diesem Verfahren wird der ungestörte Temperaturgradient an einem Punkt unterhalb der Topographie numerisch ermittelt. Es stehen auch andere numerische Methoden zur Topographiekorrektur zur Verfügung, wie z.B: Henry & Pollack (1985), Warren et al. (1969), Brott et al. (1981), Blackwell et al. (1980, zitiert in: Henry & Pollack, 1985).

Laut Brott et al. (1981) ist es möglich von horizontalen (parallelen) Isothermen auszugehen, wenn sich die gemessenen Temperaturwerte in einer Tiefe befinden in der topographische Einflüsse vernachlässigt werden können. Diese Tiefe liegt zwischen den ersten 100 und 200 Metern eines Bohrloches. Es muss jedoch angemerkt werden, dass diese Tiefe von dem Oberflächenrelief abhängig ist. Die Topographie im Untersuchungsgebiet der Diplomarbeit verläuft relativ eben und die Messwerte liegen in größeren Tiefen als die von der Topographie stark abhängigen ersten 200 Meter eines Bohrloches, sodass die Durchführung der Terrainkorrektur nicht durchgeführt werden musste.

5.2.3 Hydrodynamische Systeme

Wasserbewegungen im Untergrund führen dazu, dass die Wärme auf konvektivem Weg transportiert wird und sich somit Temperaturanomalien im Vergleich zu ausschließlicher Wärmeleitung (Konduktion) viel schneller ausbreiten. Die

Fluidbewegungen im Untergrund können sowohl zu lokalen als auch zu regionalen Störungen des Temperaturfeldes führen, wobei letztere sehr schwer nachzuweisen sind (Buntebarth, 1980).

Wenn der Wärmeaustausch zwischen dem Bohrloch und dem umgebenden Gestein durch Konvektion bzw. Advektion erfolgt (Spülung tritt während und/oder nach dem Bohrvorgang in die Formation ein, wodurch es zu Fluidbewegung im Nahbereich der durchteuften Formation kommt), sollte dies in die BHT-Korrektur einfließen. Die Lösung der Wärmeleitungsgleichung ist jedoch sehr schwierig und nur unter vereinfachten Annahmen möglich. Drury und Jessop (1982, zitiert in Ribeiro & Hamza, 1986) betrachten den Fall der in die Formation eindringenden Spülung. Luheshi (1983, zitiert in Ribeiro & Hamza, 1986) setzt sich mit dem radialen Wärmeaustausch zwischen Bohrung und Umgebung während und nach dem Bohren auseinander. In Ribeiro & Hamza (1986) wird versucht der Einfluss eines advektiven 1D-Wärmetransportes auf das thermische Gleichgewicht der Bohrung zu bestimmen. Die Zeit, die benötigt wird, um 95% des thermischen Gleichgewichts zu erreichen ist von der Temperaturdifferenz zwischen Spülung und Formation und der Fließgeschwindigkeit abhängig (Ribeiro & Hamza, 1986).

Die BHT-Messungen in den KW-Explorationsbohrungen (Bohrungen in porösen Schichten) werden häufig zur Berechnung des terrestrischen Wärmestroms hinzugezogen. Aus diesem Grund sollte man einen konvektiven bzw. advektiven Anteil bei der Korrektur der BHT-Werte einbeziehen. Der Einfluss des hydrodynamischen Systems, der im südlichen Wiener Becken einen Einfluss auf Temperaturwerte hat, konnte nicht durchgeführt werden, da keine Hilfsmittel zur Verfügung standen. Des Weiteren sollte diese Art der Korrektur hauptsächlich bei der Betrachtung des terrestrischen Wärmestroms hinzugezogen werden.

5.2.4 Paläoklima

Wie in Kapitel 4.3.1 erwähnt, zählt die Sonnenstrahlung zu den externen Wärmequellen und spielt im oberflächennahen Bereich eine wichtige Rolle. Die Bodentemperatur ist in diesem Bereich stark von der Sonnenenergie abhängig. Sie

unterliegt periodischen Schwankungen, die von der Bewegung der Erde abhängig sind.

Es treten sowohl kurzperiodische als auch langperiodische Schwankungen auf. Die Temperaturwelle mit einer Periode von einem Tag gehört zu den kurzperiodischen Variationen und dringt nur einige Zentimeter in den Boden ein. Zu den langperiodischen Schwankungen gehören Temperaturwellen mit einer Periode von einem Jahr bzw. mehreren Jahren (Jahrzehnten, ...) oder mit einer noch längeren Periode. Die Eindringtiefe von solchen Schwankungen ist sehr groß und geht von einigen Zehnermetern bis Kilometern. Diese Art der Variationen hat sehr kleine Amplituden, die die Temperaturverteilung in großen Tiefen kaum beeinflussen (Buntebarth, 1980).

Die Korrektur der paläoklimatischen Einflüsse ist mit Hilfe von Birch (1948, zitiert in: Kamyar, 2000) möglich, jedoch wird solch eine Korrektur wie die des hydrothermalen Einflusses nur bei der Betrachtung des Wärmestromes durchgeführt. Aus diesem Grund wurde auf die Korrektur im Rahmen der Diplomarbeit verzichtet.

5.3 BHT-Korrektur

Die Bohrspülung und der Bohrvorgang selbst wirken auf die ursprüngliche Temperatur im Untergrund störend. Durch die Spülung wird an der Sohle bzw. im Bereich des Bohrkopfes das umgebende Gestein abgekühlt, sodass die bohrlochgeophysikalischen Messungen eine verfälschte Temperatur liefern. Das Bohrloch und die Bohrspülung werden durch Wärmesenken bzw. -quellen dargestellt. Um Aussagen über die Temperaturverteilung im Untergrund machen zu können, ist eine Korrektur der gemessenen BHT-Daten stets notwendig.

Für die BHT-Korrektur stehen eine Vielzahl von Verfahren zur Verfügung, die auf der Lösung der Wärmeleitungsgleichung (Fourier Gesetz der Wärmeleitung bei Vernachlässigung von radiogenen Wärmequellen) basieren. Für die Wärmeleitung nach einem Temperatursprung wird oftmals die konjugierte Fehlerfunktion, die sich aus der Gauß'schen Fehlerfunktion ergibt, verwendet (Buntebarth, 1980). Die Lösung der Gleichung kann sowohl analytisch als auch

numerisch ermittelt werden, wobei die analytische Lösung nur für vereinfachte Annahmen gültig ist. Bei beiden Ansätzen müssen einige Anfangs- und Randbedingungen aufgestellt werden (Buntebarth, 1980). Die Basis der Verfahren und die Art des Quellenansatzes unterscheidet die große Anzahl der vorhandenen Verfahren. Die Grundlage bzw. die Basis ist entweder der rein konduktive Wärmetransport oder die Berücksichtigung der konvektiven Wärmeausbreitung. Beim Ansatz der Quellen wird zwischen Linienquellen und Zylinderquellen unterschieden. Der Ansatz von Linienquellen bedeutet, dass bei der Bohrung der Bohrlochradius a vernachlässigt wird und die Quellen bzw. Senken auf der Bohrlochachse ($a = 0$) liegen. Bei einer Zylinderquelle wird der Bohrlochradius a in die Berechnung der wahren Gesteinstemperatur miteinbezogen. Bei der Anwendung von Linienquellen wird zwischen kontinuierlichen und Explosionsquellen unterschieden. Bei Zylinderquellen wird ausschließlich der Ansatz einer Explosionsquelle verwendet. Wie der Name schon andeutet, wird bei der zuletzt genannten Quelle die Wärme nach Beendigung des Bohrens schlagartig an die Umgebung abgegeben, d.h. die Spülungszirkulation ist eine negative Wärmequelle bzw. eine Senke. Im Falle einer kontinuierlichen Quelle herrscht zwischen Spülungstemperatur und Gebirgstemperatur am Anfang thermisches Gleichgewicht und es wird nach Anbohren der Messtiefe durch die Spülungszirkulation kontinuierlich dem umgebenden Gestein Wärme entzogen. Bei diesem Ansatz ist die Wärmequelle in Form einer konstanten Wärmemenge pro Zeit- und Längeneinheit repräsentiert (Kamyar, 2000). Eine weitere Aufschlüsselungsform der Verfahren ergibt sich durch die Anzahl der BHT-Daten in einer Tiefe (1 BHT, 2 BHT, ab 3 BHT-Werten).

Sowohl der Ansatz einer Zylinderquelle als auch der Ansatz von Linienquellen ist durch Carslaw & Jaeger (1959) beschrieben. Die grafischen Korrekturverfahren nach Lachenbruch & Brewer (1959) und Horner (1951; adaptiert von Fertl und Wichmann, 1977) verwenden den Ansatz von Linienquellen, wobei beim ersten Verfahren vom Ansatz einer Explosionslinienquelle und im Verfahren nach Horner von einer kontinuierlichen Linienquelle ausgegangen wird.

Zu den Verfahren, die eine Zylinderquelle verwenden, gehört das Verfahren nach Middleton (1979), Leblanc et al. (1982), Villinger (1982), Cao et al. (1988),

Luheshi (1983), Lee et al. (2003) und die Weiterentwicklung des Verfahren nach Middleton (1979) – Middleton (1982). Diese Methoden unter einer Vielzahl von weiteren zählen zu den gängigsten Verfahren zur BHT-Korrektur und basieren alle auf dem konduktiven Wärmetransport.

Wie bereits erwähnt gibt es Verfahren, die die konvektive Wärmeausbreitung zusätzlich zur Wärmeleitung berücksichtigen. Zu diesen Verfahren zählt die Methode nach Ribeiro & Hamza (1986) und Shen & Beck (1986), wobei beide vom Ansatz einer Zylinderquelle ausgehen.

Die dritte Aufschlüsselungsform der Verfahren ist die Anzahl der vorhandenen BHT-Werte in einer Messtiefe. Bei Vorhandensein von mindestens drei BHT-Werten kann zur Korrektur der Ansatz einer Explosionszylinderquelle herangezogen werden (Middleton, 1982; Leblanc et al., 1982, Luheshi, 1983; Lee et al., 2003; Cao et al.; Shen & Beck, 1986; Horner, 1951; Lachenbruch & Brewer, 1959). Für den Fall, dass nur zwei BHT-Werte zur Verfügung stehen, kann das Verfahren nach Horner (1951; adaptiert von Fertl & Wichmann, 1977), Lachenbruch & Brewer (1959), Lee et al. (2003) und/oder Leblanc et al. (1982) verwendet werden, jedoch kann keine Aussage über die Qualität der Anpassung getätigt werden. Die Durchführung der Korrektur für nur einen BHT-Wert ist unter bestimmten Annahmen möglich. Zu den dafür entsprechenden Methoden zählt das Verfahren nach Haenel (1975; zitiert in: Kamyar, 2000), Schulz & Schellschmidt (1991; zitiert in: Kamyar, 2000), Binot (1987; zitiert in: Kamyar, 2000) und Leblanc et al. (1982).

Im Rahmen der Diplomarbeit wurden folgende BHT-Korrekturverfahren angewendet:

- Grafische Verfahren nach Horner (1951; adaptiert von Fertl & Wichmann, 1977) sowie nach Lachenbruch & Brewer (1959)
- Leblanc et al. (1982) bei Vorliegen von nur einem BHT-Wert (1BHT-Korrektur)
- Numerisches Verfahren (Götzl et al., 2008) auf Grundlage von Leblanc et al. (1982)
- Automatisierte Temperaturprognose (Götzl, 2010)

Die letzteren zwei Verfahren sind im Rahmen des Projektes „THERMALP“ entwickelt worden.

5.3.1 Grafische Korrekturverfahren

Die grafischen BHT-Korrekturverfahren sind, wie bereits in der Einleitung des Kapitel 5 erwähnt, das Horner-Plot Verfahren (1951; adaptiert von Fertl und Wichmann, 1977) sowie das Verfahren nach Lachenbruch & Brewer (1959).

5.3.1.1 Verfahren nach Horner

Das analytische Verfahren nach Horner verwendet den Ansatz einer kontinuierlichen Linienquelle, wobei Horner (1951) eigentlich ursprünglich damit den Druckaufbau in einer verschlossenen Bohrung analysierte. Der Druckaufbau im verschlossenen Bohrloch ergibt sich aus der Darstellung des gemessenen Druckes aufgetragen gegen den Logarithmus von $\frac{t_0 + \vartheta}{\vartheta}$, wobei t_0 der Zeit entspricht in der die Bohrung produziert hat und ϑ jener in der die Bohrung verschlossen war bzw. ist (Horner, 1951).

Die Modifizierung dieses Verfahrens für die Temperatur in einem Bohrloch erfolgt durch Fertl und Wichmann (1977), denn der Druckaufbau und der Temperaturanstieg nach dem Zirkulationsstopp im Bohrloch verhalten sich ähnlich. In diesem Fall wird die Dauer des Klarspülens (Zirkulationsdauer s [sec]) vor einer geophysikalischen Messung und die Ruhezeit zwischen Beenden des Bohrbetriebes bzw. des Klarspülens und dem Beginn der Temperaturmessung (Stillstandzeit t [sec]) berücksichtigt.

Die gemessenen BHT-Werte werden gegen den Logarithmus von $\frac{s+t}{t}$ aufgetragen. Im Falle reiner Konduktion nähern sich die in dieser Darstellung aufgetragenen BHT-Werte einer linearen Ausgleichsfunktion an, sodass der Schnittpunkt mit der Ordinate die wahre Formationstemperatur ergibt (Abbildung 5.1). Um dieses Verfahren anwenden zu können, müssen mindestens zwei BHT-

Werte in der gleichen Tiefe gegeben sein. Der Vollständigkeit halber muss erwähnt werden, dass bei zwei Werten immer die Möglichkeit besteht eine Regressionsgerade durchzulegen und somit keine Aussage über die Qualität der Korrektur gemacht werden kann. Eine zuverlässigere Aussage über die Formationstemperatur kann klarerweise erst ab drei gemessenen Werten gemacht werden. Das Verfahren ist deshalb von der Genauigkeit der angegebenen Stillstandzeit und Zirkulationsdauer abhängig. Ein Beispiel für die nicht ausreichende Genauigkeit der Stillstandzeit und/oder der Zirkulationsdauer ist in Abbildung 5.1 dargestellt. Da jedoch keine exakteren Angaben dieser beiden Parameter vorhanden waren, ist die schlechte Datenlage und die daraus resultierenden Korrekturen zu akzeptieren.

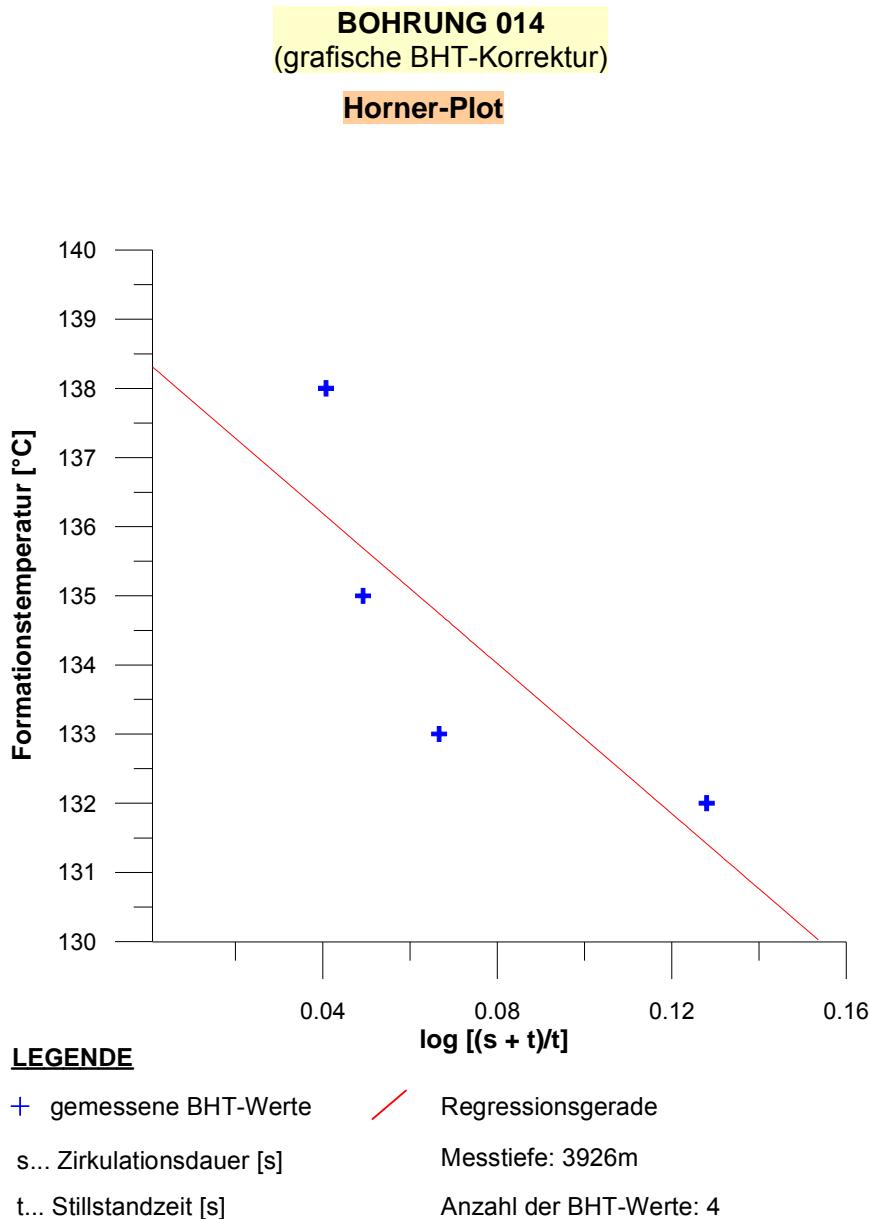


Abbildung 5.1 Verfahren nach Horner (1951, adaptiert von Fertl & Wichmann, 1977) angewendet auf eine KW-Bohrung aus dem Untersuchungsgebiet

5.3.1.2 Verfahren nach Lachenbruch & Brewer

Das Verfahren basiert auf dem Ansatz einer Explosionslinienquelle und ist ebenfalls wie das Horner Verfahren empirisch ermittelt worden. Auch hier wird der Wärmetransport nur auf Wärmeleitung beschränkt. Auf Grund der Tatsache, dass von einem Explosionsansatz ausgegangen wird, kann die Zirkulationsdauer s

vernachlässigt werden („zero circulation“) und die Bestimmung der wahren Formationstemperatur ist nur von der Stillstandzeit t abhängig.

Bei diesem Verfahren werden die BHT-Werte gegen den Logarithmus von $\frac{1}{t}$ aufgetragen und ebenfalls wie beim Horner Verfahren nähern sich die BHT-Daten einer linearen Ausgleichsfunktion an, sodass der Schnittpunkt mit der Ordinate die wahre Formationstemperatur ergibt (Abbildung 5.2). Die Voraussetzung für die Anwendung dieses Verfahrens sind mindestens zwei gemessene BHT-Werte in der gleichen Messtiefe. Da bei diesem Verfahren die Zirkulationszeit vernachlässigt wird und diese im Rahmen der Diplomarbeit hauptsächlich geschätzt wurde (siehe Kapitel 6), ist dieses Verfahren im Vergleich zum Horner Plot tendenziell genauer. Im Vergleich zum Horner Plot (Abbildung 5.1) liegen die gemessenen BHT-Werte in diesem Verfahren (Abbildung 5.2) viel näher an der Regressionsgeraden.

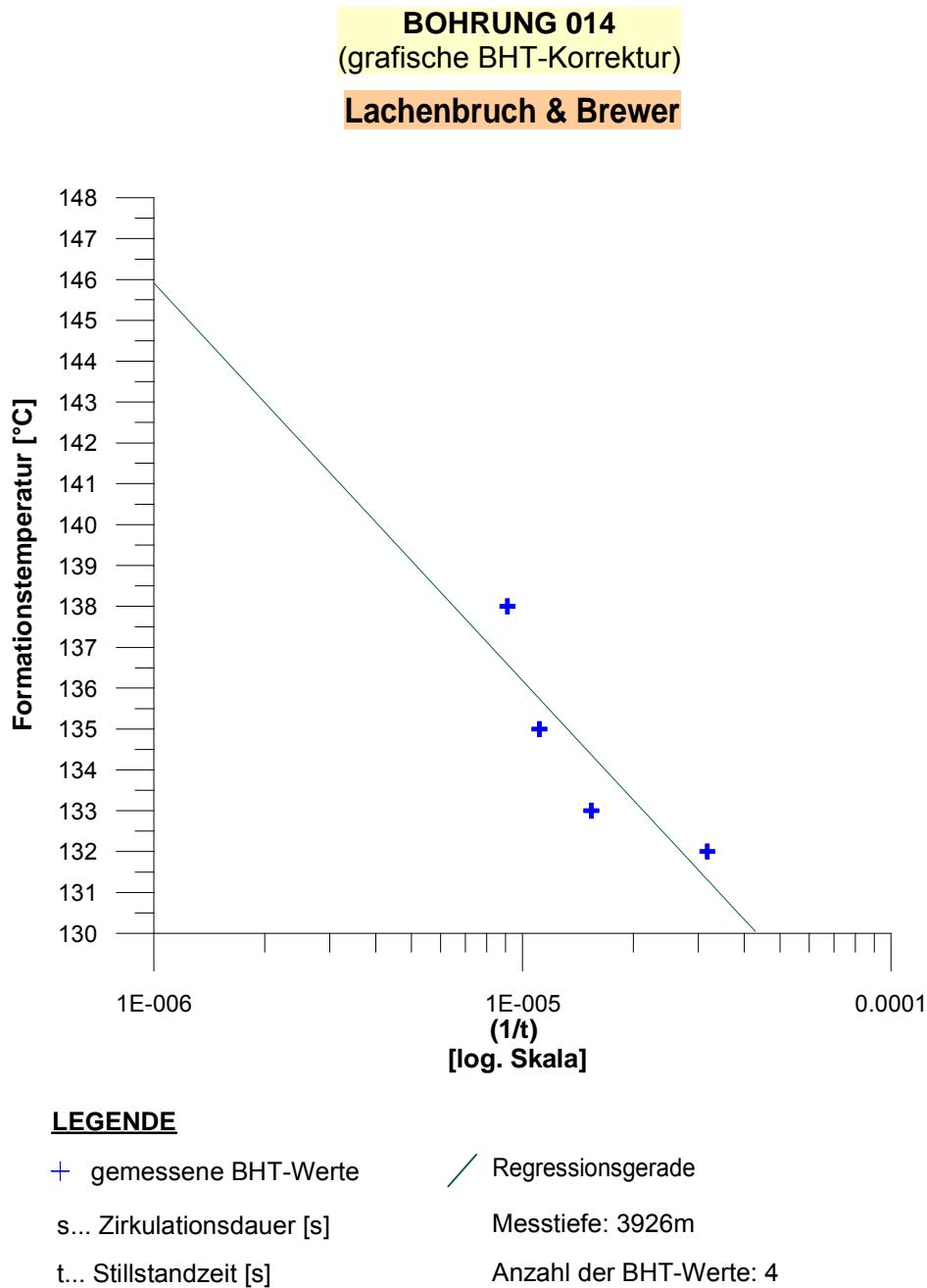


Abbildung 5.2 Verfahren nach Lachenbruch & Brewer (1959) angewendet auf eine KW-Bohrung aus dem Untersuchungsgebiet

5.3.2 Numerische Verfahren

Die benutzten numerischen Verfahren für die Korrektur des Spülungseinflusses basieren auf Leblanc et al. (1982).

5.3.2.1 Numerische Korrekturverfahren (Götzl et al., 2008) nach Leblanc et al. (1982)

Die Herleitung einer Korrekturfunktion für die wahre Formationstemperatur erfolgt in Leblanc et al. (1981). Diese Funktion wird in Leblanc et al. (1982) numerisch gelöst wird. Die Grundlage des Korrekturverfahrens ist der Ansatz einer Explosionszylinderquelle (endlicher Bohrlochradius a), d.h. dass der Wärmefluss erst bei Beendigung der Zirkulation statt findet. Eine weitere Anfangsbedingung ist, dass die Spülung die Temperatur T_m bei $t=0$ hat und das umgebende Gestein die Temperatur T_f besitzt. Nach Beendigung der Zirkulation fließt die Wärme nur in radialer Richtung (axialsymmetrische Geometrie) ins Bohrloch. Das Bohrloch ist symmetrisch um die Zylinderachse. Der daraus resultierende Temperaturanstieg im Bohrloch ist nun von Interesse. Weiters ist die Temperaturleitfähigkeit innerhalb und außerhalb des Bohrloches gleich. Über die Optimierung der Temperaturleitfähigkeit kann die Formationstemperatur bestimmt werden.

Es ergibt sich über die Lösung der Wärmeleitungsgleichung im zylindrischen Koordinatensystem für den Mittelpunkt – auf der Zylinderachse – ($r = 0$) (Leblanc et al., 1981):

$$BHT(0,t) = T_f - (T_f - T_m) \left[1 - \exp\left(\frac{-a^2}{4\kappa t}\right) \right] \quad (5.1)$$

bzw. für $\Delta T = T_f - T_m$ (anfängliche Temperaturstörung)

$$BHT(0,t) = T_m + \Delta T \left[\exp\left(\frac{-a^2}{4\kappa t}\right) \right] \quad (5.2)$$

Der Parameter κ ist die Temperaturleitfähigkeit.

Durch Umformung der Gleichung (5.1) ergibt sich eine Korrekturgleichung für die Formationstemperatur:

$$T_f = BHT(0, t) - \Delta T \left[\exp\left(\frac{-a^2}{4\kappa t}\right) - 1 \right] \quad (5.3)$$

Die inverse Bestimmung erfolgt durch Linearisierung von Gleichung (5.3) und LSQ-Optimierung (Götzl et al., 2008):

$$\ln(BHT - T_m) = \ln(\Delta T) - \left(\frac{a^2}{4} \right) * \frac{1}{\kappa} * \frac{1}{t} \quad (5.4)$$

Im Rahmen des Projektes „THERMALP – Geothermie der Ostalpen“ wurde ein solches Programm in Fortran entwickelt. Bei Vorhandensein von mindestens zwei BHT-Werten mit unterschiedlichen Stillstandzeiten kann dieses Verfahren angewendet werden. Die Variable, die dabei angepasst wird, ist die Temperaturleitfähigkeit κ . Die Anpassung der Temperaturleitfähigkeit erfolgt durch Bestimmung der Abweichung von gemessenen zu modellierten BHT-Werten (Götzl et al., 2008). Zusätzlich zur wahren Formationstemperatur ergibt sich auch ein optimierter Wert für die Temperaturleitfähigkeit. Dieses Verfahren wurde für jedes Bohrloch im Untersuchungsgebiet ausgeführt, bei der mindestens zwei BHT-Werte in der gleichen Tiefe vorhanden sind. Die numerische Korrektur konnte auf 20 Bohrungen nicht durchgeführt werden, da die Voraussetzungen in Form von mindestens zwei unabhängigen BHT-Messwerten in einer Tiefe nicht gegeben war.

5.3.2.2 Korrekturverfahren für 1 BHT-Wert (1BHT-Korrektur)

Falls in einer Tiefe nur ein BHT-Wert vorhanden ist, was auf sehr viele Fälle der KW-Bohrungen, die für die Diplomarbeit herangezogen wurden, zutrifft, kann ebenfalls die Gleichung (5.1) zur Ermittlung der Formationstemperatur verwendet werden. In diesem Fall muss die Temperaturleitfähigkeit geschätzt werden. Der angenommene Wert für die Temperaturleitfähigkeit κ wurde aus Mittelung aller Werte, die aus der Anwendung des Verfahrens von Kapitel 5.3.2.1

entnommen und betrug $6.52 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$. Die Vereinfachung der Gleichung (5.1) führt zur Formationstemperatur (Leblanc et al., 1982):

$$T_f = \frac{BHT + T_m [f(t) - 1]}{f(t)} \quad (5.5)$$

$$f(t) = \exp\left(\frac{-a^2}{4\kappa t}\right) \quad (5.6)$$

Die Formationstemperatur kann in diesem Fall nur dann bestimmt werden, wenn folgendes Kriterium erfüllt ist (Leblanc et al., 1982):

$$a^2 < 4 \cdot \kappa \cdot t$$

Der Exponential-Term würde im Idealfall (sehr lange Stillstandzeit) gegen eins gehen, sodass die gemessene Temperatur im Bohrloch der wahren Formationstemperatur entspricht. Da die Stillstandzeiten vor den Messungen sehr gering sind (einige Stunden), war das oben angeführte Stabilitätskriterium nicht immer erfüllt, sodass in vielen Fällen keine Korrektur an nur einem BHT-Wert vorgenommen werden konnte.

5.3.3 Automatisierte Temperaturprognose (Götzl, 2010)

Die Wärmeleitungsgleichung bei Quellenfreiheit (4.11) kann für die Basis einer Schicht m_i wie folgt beschrieben werden (Götzl, 2010):

$$T_i = T_{i-1} + q \cdot \frac{m_i}{\lambda_{eff,i}} \quad (5.7)$$

Die Voraussetzungen für Gleichung (5.7) sind, dass der terrestrische Wärmestrom radial an die Erdoberfläche orientiert ist und $\lambda_{eff,i}$ der effektiven Wärmeleitfähigkeit der jeweiligen Schicht entspricht.

Für $T_{i=0}$ wird die als konstant angenommene Bodentemperatur an der Erdoberfläche eingesetzt. Die Berechnung der Oberflächentemperatur, die messtechnisch nicht erfasst vorgelegen ist, erfolgt mit Hilfe einer Gleichung, die an der Geologischen Bundesanstalt auf der Grundlage von empirischen Beobachtungen der ZAMG abgeleitet worden ist (Götzl, 2010):

$$T_o = 12.52 + 4.1 \cdot 10^{-3} \cdot h \quad (5.8)$$

Wobei h die Seehöhe [m ü. A] darstellt. Die Gleichung (5.8) wurde anhand von Bodentemperaturen kalibriert, die durch die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) in einer Tiefe von 20 cm an mehr als 100 Stationen in Österreich für den Zeitraum 1997 bis 2007 erfasst worden sind.

Die Gleichungen (4.11) und (5.7) setzen voraus, dass die Wärmeflussdichte über die gesamte Bohrlochlänge konstant ist und der Wärmetransport nur auf konduktivem Weg erfolgt. Diese Annahme trifft jedoch nicht auf alle Bohrungen zu und ist vor allem bei Vorhandensein ausgeprägter hydrodynamischer Systeme fehleranfällig.

Auf Basis der Beziehung (5.7) kann eine inverse Optimierung des terrestrischen Wärmestroms entwickelt werden. Die dafür benötigten Eingangsdaten stellen Temperaturwerte in verschiedenen Tiefen, die geologischen Schichten und die dazugehörigen Wärmeleitfähigkeitswerte dar. Die Optimierung erfolgt durch Vergleich der gemessenen und modellierten Temperaturwerte. Zusätzlich zum terrestrischen Wärmestrom erhält man ein Temperaturprofil für jede Bohrung in einem bestimmten Tiefenintervall. Die Anwendung dieses Verfahrens kann zwar auch auf Grundlage eines einzigen korrigierten BHT-Werts erfolgen, muss jedoch aufgrund der damit verbundenen Unsicherheiten (Annahmen und fehlende Qualitätskontrolle zur Durchführung der BHT-Korrektur sowie geringe Anzahl an Stützstellen bei der inversen Bestimmung des Temperaturprofils) kritisch hinterfragt werden. Dieses Verfahren wurde für fast jede Bohrung dreimal angewendet:

- INVERSION I: Verwendung von grafisch korrigierten BHT-Werten

- INVERSION II: Verwendung von numerischen Korrektur (nach Leblanc et al., 1982)
- INVERSION III: numerische Korrektur sowie Verwendung von BHT-Korrektur bei Vorliegen eines einzelnen Temperaturwertes

6 Vorgehensweise bei der Untersuchung des Gebietes

Die Diplomarbeit wurde in acht Arbeitsschritte unterteilt, die wie folgt lauten:

1. Arbeitsschritt:

- a. Durchführung einer Literaturstudie (sowohl in geologischer als auch geothermischer Hinsicht).
- b. Zusammentragen aller benötigten Informationen für die verwendeten Bohrungen aus dem Untersuchungsgebiet: Die für die Diplomarbeit wichtigen Informationen stehen in geologischen Wochenberichten bzw. bohrtechnischen Berichten, Tagesprotokollen der Bohrmeister, Arbeitsaufträgen für die bohrlochgeophysikalischen Messungen, Log-Headern dieser Messungen, Protokollen der Formationstests sowie den geologischen Kurzprofilen.
- c. Digitalisierung von analogen Temperatur- und ZKB-Logs im Programm „Didger 3“ (Golden Software).

2. Arbeitsschritt:

- a. Bestimmung der Zirkulationsdauer und
- b. Bestimmung der Stillstandzeit (Parameter für die Korrektur des Spülungseinflusses, siehe Kapitel 5.3)

3. Arbeitsschritt: thermische Datenprocessing

- a. Grafische BHT-Korrektur
- b. Numerische BHT-Korrektur
- c. Temperaturprognose:
 - INVERSION I
 - INVERSION II

▪ INVERSION III

- d. 1BHT-Korrektur
- e. Validierung der thermischen Daten aus den Temperaturlogs und den Formationstests

4. Arbeitsschritt:

- a. Manuelle Erarbeitung von Temperaturprofilen:
 - PROFIL I: aus grafisch korrigierten BHT- und DST-Werten
- b. Automatische Erstellung von Temperaturprofilen:
 - PROFIL II: aus INVERSION I
 - PROFIL III: aus INVERSION II
 - PROFIL IV: aus INVERSION III

5. Arbeitsschritt:

Erstellung von Excel-Tabellen mit den wichtigsten Informationen (tektonische Einheiten, unkorrigierte und korrigierte BHT-Werte in der jeweiligen Messteufe, Temperaturdaten aus Formationstests, digitalisierte Logs, Temperaturprofile und Temperaturgradient in der Bohrung).

6. Arbeitsschritt:

Mit Hilfe der Tabellen, die sich aus dem fünften Arbeitsschritt ergeben, werden für jede Bohrung Temperatur-Teufen Profile im Programm „Grapher 5“ (Golden Software) erstellt.

7. Arbeitsschritt:

In diesem Schritt werden die Temperaturkarten in 500 m-Schritten beginnend bei 1000 m bis in eine Tiefe von 4000 m u. GOK generiert.

6. Vorgehensweise bei der Untersuchung des Gebietes

Die Erstellung der Karten erfolgt mit dem Programm „Surfer 8“ (Golden Software). Außerdem werden (falls vorhanden) auch Daten aus Formationstests hinzugefügt um eine Validierung der Temperaturkarten durchzuführen.

8. Arbeitsschritt:

Interpretation der Temperaturkarten und Schlussfolgerungen

Die Bohrungen werden in weiterer Folge anonymisiert. Im Anhang sind die Bohrungen und ihre zugehörigen Nummern angegeben.

Ad 1.b.:

In geologischen Wochenberichten, bohrtechnischen Berichten und den täglichen Protokollen des Bohrmeisters werden Arbeitsschritte beschrieben, die während der gesamten Bohrung durchgeführt wurden, z.B.: Rollenmeißelein- und Rollenmeißelausbau, Rollenmeißelwechsel, Ein- und Ausbau des Kernapparates, durchgeführte Zirkulationen, etc. Diese Berichte sind für die Zirkulationsdauer und auch für die Stillstandzeit nötig. Da die Angabe der Zirkulationsdauer und des Zirkulationsstopps nur im Falle der Tagesprotokolle des Bohrmeisters exakt sind und die Angabe in den anderen Berichten nur selten hinreichend ausfällt, muss der Tagesablauf vor den bohrlochgeophysikalischen Messungen rekonstruiert werden. In den Arbeitsaufträgen sind die gefahrenen Logs und ihre gewünschte Reihenfolge aufgelistet. Die Tiefenintervalle in denen die geophysikalischen Messungen durchgeführt sind, stehen ebenfalls in den Arbeitsaufträgen. Weitere wichtige Informationen, die hier zu finden sind, sind der Beginn der ersten und das Ende der letzten Messung. Es ist aus diesen Daten und jenen aus den geologischen Wochenberichten möglich die Stillstandzeit zu bestimmen, falls sie nicht angegeben ist.

Aus den Log-Headern bzw. Schriftköpfen werden folgende Informationen entnommen:

- Datum der Messung
- Messtiefe und Messintervall
- Messzeit (falls vorhanden)
- Durchmesser des Bohrlochs
- Spülungsinformationen (Dichte und Art)
- Sondentyp
- BHT-Wert [°C]
- eventuell die Zirkulationsdauer

Die Protokolle der Formationstests enthalten ebenfalls, wie die anderen Berichte eine Vielzahl an Informationen. Für die Aufgabenstellung der Diplomarbeit sind jedoch nur drei Informationen wichtig: die Messtiefe, die Temperatur in dieser Tiefe und ob eventuell Gas oder Wasser in die Bohrung eingedrungen ist bzw. ein Spülungsverlust während der Tests aufgetreten ist.

Aus den geologischen Kurzprofilen erhält man die durchteufelten geologischen Schichten und ihre Mächtigkeiten, die bei der Erstellung von Temperatur-Tiefen Profilen (Arbeitsschritt 6) verwendet werden.

Ad 1.c.:

Die Temperatur- und ZKB-Logs aus den OMV Bohrungen sind nur in analoger Form zur Verfügung gestanden und mussten aus diesem Grund digitalisiert werden. Die Digitalisierung erfolgte wie eingangs schon erwähnt im Programm Didger 3. Dieser Arbeitsschritt ist nicht exakt durchführbar, sodass die digitalisierten Logs fehlerbehaftet sind. Es wurde jedoch versucht den RMS Fehler bei der Digitalisierung unter 0.1 °C zu halten. Dies konnte beim Großteil der Logs erfolgreich bewerkstelligt werden.

Alle Informationen, die sich aus den Berichten, Protokollen, Kurzprofilen, Schriftköpfen der Logs und den hydraulischen Formationstests ergeben, werden in einer Datenbank (Abbildung 6.1), die für das Projekt THERMALP entwickelt wurde, angelegt, sodass der Zugriff auf die Informationen stets möglich ist.

6. Vorgehensweise bei der Untersuchung des Gebietes

The screenshot shows a software interface for data entry. At the top, there are dropdown menus for 'Objekt ID' (BMN M34), 'Bezeichnung Objekt' (Rw Lokal), 'Studie' (Thermalp - Mod3D-Kern), and 'BHT - PROCESSING Dateneingabe'. Below this, there are fields for 'KOS Lokal' (BMN M34), 'Rw Lokal' (Lokal), and 'Oberflächentemperatur: 13.17 [°C]'. The main area is divided into several sections:

- Survey ID:** 416, Eingegebatum: 17.06.2008.
- Survey:** Messtiefe: 2030 [m u.GOK].
- Bohrloch:** BL Durchmesser: 0.375 [m], Spülungstyp: [empty], Dichte: 1220 [kg/m³].
- Zirkulation:** ZirkStart: 16.09.1962, ZirkEnd: 16.09.1962, Genauigkeit: geschätzt, Uhrzeit: 06:00, ZirkStart Time: 06:00, ZirkEnd Time: 08:15, Zirkulationsdauer: 8100 [s].
- Bohrstopp:** Datum: 16.09.1962, Uhrzeit: 06:00, Anzahl BHT: 1.
- Endergebnis:** TF: 86.1 [°C], Fehlerbereich +/-: [orange bar], FT - Horner Plot: [empty], FT - Lachenbruch: [empty], FT - Modellierung: 86.1 [°C].
- Teilergebnisse:** FT - Horner Plot: [empty], FT - Lachenbruch: [empty], FT - Modellierung: 86.1 [°C].
- frm_ProcBHT:** A table with columns Proc ID, Log, Typ, Messwert [°C], Thermische Diffusivität [m²/s], Beta [s], Temp Mud [°C], Messzeit, Qualität, Stillstandzeit [s], and Eingabedatum. It contains two rows: 690 (CE, BHT, 65, 0.0000012, 21500, 21500, 44.5, 13:38:00, geschätzt, 19080, 17.06.2008) and AutoWer (CE, BHT, 65, 0.0000012, 21500, 21500, 44.5, 13:38:00, geschätzt, 19080, 16.07.2010).

At the bottom, there are navigation buttons for 'Datensatz:' (Datasets) and 'Datensatz: 1 von 6'.

Abbildung 6.1 BHT-Processing Datenbank mit wichtigen Informationen zu Bohrungen, im Rahmen des Projektes THERMALP erstellt

Ad 2.a.:

Die Bestimmung bzw. Schätzung der Zirkulationsdauer kann auf zwei verschiedene Arten erfolgen. Bei der ersten Art, die in der Diplomarbeit verwendet wird, werden alle genau angegebenen Werte aus dem Untersuchungsgebiet gemittelt. Die daraus resultierende Dauer s beträgt 8100 sec. Zur Mittelung stehen 355 Werte aus 58 Bohrungen zur Verfügung. Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung der Zirkulationsdauer besteht darin, sie mittels des Volumens der Bohrung (in Liter) und der Pumpleistung zu berechnen. Das Volumen einer Bohrung entspricht dem Volumen eines Zylinders und kann durch die angegebene Messtiefe und den bekannten Meißeldurchmesser (→ Radius) berechnet werden. Für die Pumpleistung wird ein konstanter Wert von 1000 l/min eingesetzt. Laut einem Bohrmeister der OMV AG wird das Klarspülen nach Zirkulieren von ca. zwei Bohrlochvolumina beendet. Diese Art der Bestimmung wird jedoch nicht verwendet, weil die Annahme einer konstanten Pumpleistung nicht immer erfüllt ist. Eine Überprüfung der Angabe der Pumpleistung für jede Bohrung würde sehr viel Zeit in Anspruch nehmen und zudem ist diese Information ebenfalls wie die Zirkulationsdauer und die Stillstandzeit nicht für

jede Bohrung gegeben. Ein weiterer Grund ist, dass bei der Durchsicht der gegebenen Werte für die Zirkulationsdauer hauptsächlich zwei Stunden (unabhängig von der Tiefe) angegeben wurde.

Ad 2.b.:

Die Stillstandzeit wird, falls sie nicht angegeben ist, aus den Arbeitsaufträgen und geologischen Berichten bestimmt. Aus den Arbeitsaufträgen kann der Beginn der ersten geophysikalischen Messung abgelesen werden. Für die Stillstandzeit wird zusätzlich zum Beginn der Messung noch das Ende der Zirkulationsdauer benötigt. Die Differenz dieser beiden ergibt die Stillstandzeit. Die Angabe des Zirkulationsstopps ist nur selten vorhanden, sodass eine Rekonstruktion des Tagesablaufes vor Beginn der Messungen nötig ist. Zum größten Teil verlaufen die Stunden vor Abteufen der Messsonden wie folgt ab: Bohren, Zirkulieren, Rollenmeißelausbau und Messungen durch OMV AG und/oder der Firma Schlumberger (Abbildung 6.2).

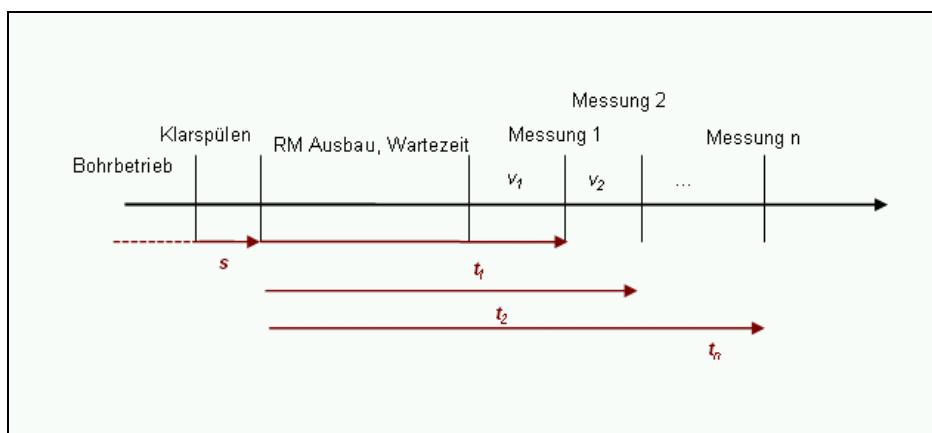


Abbildung 6.2 Darstellung des Tagesablaufes vor bohrlochgeophysikalischen Messungen

Da der Beginn der Messungen bekannt ist, muss die Dauer des Ausbaus vom Rollenmeißel ermittelt werden, denn auch dieser ist in den Berichten nicht immer exakt angegeben. Mit Hilfe von 547 angegebenen Werten (aus Tagesprotokollen) wurde für die Dauer des Ausbaus eine Gleichung bestimmt, die die Berechnung der benötigten Zeit für den Rollenmeißelausbau aus einer bestimmten Tiefe

6. Vorgehensweise bei der Untersuchung des Gebietes

ermöglicht. Dies wurde durch das Auftragen der gegebenen Werte gegen die Tiefe und durch Hinzufügen einer Regressionsgerade, die am besten den Zusammenhang zwischen Tiefe und Dauer des Rollenmeißelausbaus (Abbildung 6.3) beschreibt, vollzogen.

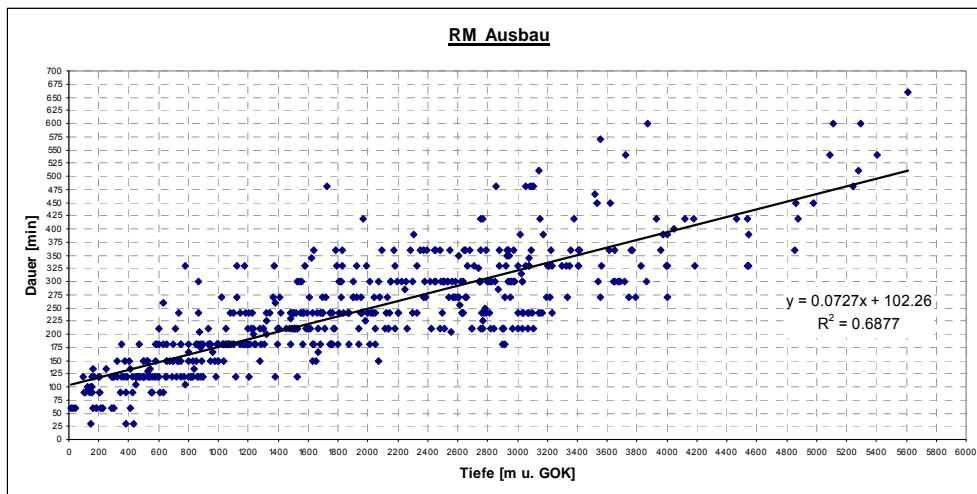


Abbildung 6.3 Diagramm mit Werten für die Dauer eines Rollenmeißelausbaus in Abhängigkeit von der Tiefe

Wie im Fall der Bestimmung der Zirkulationsdauer gibt es eine zweite Möglichkeit zur Ermittlung der Dauer des Ausbaus. Der Rollenmeißel bzw. der Bohrkopf hängt am Bohrgestänge, welches aus mehreren Stangen besteht. Für den Ausbau von drei Stangen (28.8 m Länge) werden ca. fünf Minuten benötigt. Aus der bekannten Messteufe, die in etwa der Gestängelänge entspricht, und der Zeitangabe ist eine Ermittelung der Dauer des Rollenmeißelausbaus möglich. Da die berechneten Werte jedoch sehr stark von den 547 angegebenen Werten abweichen und die Angaben nur Schätzwerte sind, wurde diese Vorgangsweise nicht angewendet.

Nur sehr selten wird vor der Messung gekernt und nicht gebohrt. Die Berechnung der Ausbaudauer des Kernapparates ist in diesem Fall dieselbe wie vorher für den Ausbau des Rollenmeißels, jedoch stehen weniger Werte zur Ermittlung einer Gleichung zur Verfügung.

Zur Bestimmung der Stillstandzeit, der Zeit zwischen Beendigung des Klarspülens und der Messung der Temperatur, muss noch der Beginn jeder

bohrlochgeophysikalischen Messung und die Dauer der Messungen ermittelt werden. Im Falle von Messungen durch die Firma Schlumberger sind die Messzeit und die Zirkulationsdauer zum größten Teil gegeben, sodass eine Schätzung nicht nötig ist.

Mit Hilfe der gesamten Dauer für alle durchgeföhrten Messungen, dem Beginn der ersten Messung, die aus den Arbeitsaufträgen abzulesen ist, und den Geschwindigkeiten, mit denen die Logs im Bohrloch gefahren werden, kann die Messzeit für jeden gemessenen BHT-Wert bestimmt werden und somit in weiterer Folge auch die Stillstandzeit t (Abbildung 6.2). Es muss berücksichtigt werden, dass die Geschwindigkeit mit der ein Log im verrohrten Bereich des Bohrlochs fährt, eine andere ist, als jene im unverrohrten Bereich.

Die Berechnung der Messzeit soll anhand eines Beispiels näher erklärt werden. Bei einer Bohrung wurde in einer Tiefe von ca. 2000 m u. GOK die maximale Temperatur dreimal bestimmt, aber es fanden sechs bohrlochgeophysikalische Messungen statt: CE, IEL, LL3, MLW/KAL, GRN und CDM. Die wichtigsten Informationen werden in einer Excel-Tabelle (Tabelle 6.1) eingetragen.

Tabelle 6.1 Abschätzung der Messdauer einer BHT-Messung, in grün: Logs, bei denen maximale Temperatur ermittelt; v-Log: Geschwindigkeit der Sonde, AA: Arbeitsauftrag; in rot: die gesamte Messdauer in Minuten, die aus dem Arbeitsauftrag hervorgeht.

Reihenfolge	BLM	Messintervall		Messfahrt komplett	v-Log [m/min]	Messzeit (soll)	Ges. Messdauer aus AA	Startzeit	Messzeit
		von	bis						
1	CE			154	20	62		10:00	11:02
2	IEL	199	1999	154	20	127		12:34	14:41
3	LL3	199	1999	102	10	33		15:08	
4	MLW + KAL	1450	1999	321	7	62		17:00	18:02
5	GRN	199	2001	134	6	32			
6	CDM	1480	2000	364	6	62			
7		199	2001		0	0			
8					0	0			
<u>Summe</u>				1230			1230		

6. Vorgehensweise bei der Untersuchung des Gebietes

In der zweiten Spalte der Tabelle 6.1 werden die Logs bzw. Sonden in der richtigen Reihenfolge aufgelistet, denn dies war im Arbeitsauftrag (AA) nicht immer der Fall. Da sich die Temperatur mit voranschreitender Zeit der Formationstemperatur nähert, können die Log-Header aus diesem Grund in die korrekte Reihenfolge gesetzt werden, d.h., dass das Log mit einer niedrigeren Temperatur zuerst gefahren wurde, usw. Die nächsten zwei Spalten geben das Messintervall des jeweiligen Logs wieder (aus dem AA oder dem Log-Header abgelesen). In der vierten Spalte ist die komplette Messfahrt bzw. -dauer, die das Log für die komplette Befahrung des Bohrlochs benötigt, über folgende Formel berechnet:

$$t_{\text{ges}} = 2 \frac{s_b}{v_{\text{rohr}}} + \frac{s_e - s_b}{v_{\text{oh}}} + \frac{s_e - s_b}{v_{\log}} \quad (6.1)$$

wobei s_b ... Beginn des Messintervalls

s_e ... Ende des Messintervalls

v_{rohr} ... Geschwindigkeit im Verrohrten

v_{oh} ... Geschwindigkeit im open-hole Bereich

v_{\log} ... Geschwindigkeit des Logs

In der Gleichung (6.1) steht im ersten Term der Beitrag der sich aus der Befahrung des verrohrten Bereiches ergibt. Im zweiten und dritten Term fährt das Log bis zum Ende des Messintervalls mit der Geschwindigkeit für den open-hole Bereich und startet aufwärts mit der Messung, sodass die typische Messgeschwindigkeit des Logs verwendet wird.

In der nächsten Spalte der Tabelle 6.1 sind die für die OMV AG üblichen Log-Geschwindigkeiten angegeben. In der Spalte „Messzeit (soll)“ wird die Zeit berechnet, die das Log benötigt um zur Messtiefe zu gelangen, in der die Temperatur bestimmt wird:

$$t_{\text{soll}} = \frac{s_b}{v_{\text{rohr}}} + \frac{s_e - s_b}{v_{\text{oh}}} \quad (6.2)$$

Mit Hilfe dieser Angabe und der Startzeit des ersten Logs kann die Messzeit (Messung der Temperatur) bestimmt werden (letzte Spalte). Dies wird für alle Sonden durchgeführt, in welchen die Temperaturen bestimmt worden sind (Tabelle 6.1 grüne Beschriftung). Die Startzeit der zweiten Sonde erhält man indem zur ersten Startzeit die komplette Messdauer der ersten Messung (aus der fünften Spalte) addiert wird, dies wird dann auch für die zweite Sonde gemacht, sodass sich die dritte Startzeit ergibt, usw. In der achten Spalte steht in rot die gesamte Dauer der Messungen, die aus dem Arbeitsauftrag abgelesen werden kann. Die Summe der kompletten Messzeiten der Sonden sollte ca. gleich groß sein wie die gesamte Dauer der Messungen und kann durch Variation der Geschwindigkeiten erreicht werden, falls sie nicht übereinstimmen sollten. Der Grund dafür ist, dass die Sonden nicht immer mit den typischen Geschwindigkeiten gefahren wurden und es darüber auch keine Dokumentationen gibt. Über die Differenz der Messzeit und des Zirkulationsendzeitpunkt kann die Stillstandzeit ermittelt werden.

Die Genauigkeit der Korrektur der BHT-Werte und auch die Darstellung der Temperaturverteilung im Untergrund sind somit stark von diesen Berechnungen bzw. Schätzungen abhängig.

Bei der Durchsicht der Bohrungen aus dem Untersuchungsgebiet, haben sich zwei Schwierigkeiten ergeben, die auch bei anderen Arbeiten aus diesem Gebiet aufgetreten sind (Leutner, 1990). Erstens wurden in sehr vielen Fällen nur einzelne Messungen durchgeführt, sodass nur ein BHT-Wert in einer Messtiefe vorhanden ist und dadurch die BHT-Korrektur erschwert wird. Dieses Problem trifft hauptsächlich auf alte Bohrungen (z.B. aus den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts) zu. Ein zusätzliches Problem ergibt durch die redundanten BHT-Werte während einer Messkampagne, sodass zur BHT-Korrektur nur ein BHT-Wert vorhanden ist.

Nachdem die Zirkulationsdauer und die Stillstandzeit abgeschätzt worden sind, konnten in weiterer Folge die Korrekturverfahren auf die BHT-Daten angewendet werden.

6. Vorgehensweise bei der Untersuchung des Gebietes

Ad 3.a.:

Die grafischen Korrekturverfahren konnten für Temperaturdaten in 85 von insgesamt 111 Bohrungen aus dem Untersuchungsgebiet der Diplomarbeit angewendet werden. Die Korrektur für die restlichen Bohrungen war nicht möglich, da entweder nur ein Temperaturmesswert oder nur Temperaturen aus hydraulischen Formationstests vorhanden sind und letztere nach langen Stillstandzeiten gemessen werden, sodass eine Korrektur nicht mehr nötig ist. Die Ergebnisse dieser Korrektur sind im Anhang in Form einer Tabelle zu finden.

Ad 3.b.:

Das numerische Verfahren nach Leblanc et al. (1982) war wie die grafischen Korrekturverfahren auf Temperaturwerte aus 85 Bohrungen anwendbar. Die Durchführung der Korrekturen war, wie zuvor (3.a.), nicht für alle Daten möglich. Die Ergebnisse sind ebenfalls im Anhang zu finden.

Ad 3.c.:

Die automatisierte Temperaturprognose wurde, wie schon im Kapitel 5.3.3 erwähnt, auf der Grundlage von drei unterschiedlichen Datensätzen durchgeführt. Die erste Temperaturprognose, auch INVERSION I abgekürzt genannt, konnte auf 92 von 111 Bohrungen angewendet werden. Der Grund dafür ist, dass bei den restlichen Bohrungen nur einzelne BHT-Werte vorhanden sind. Bei Temperaturwerten aus 82 Bohrungen des gesamten Gebietes konnte INVERSION II angewendet werden. Die Anwendung auf die restlichen Messwerte ist nicht durchgeführt worden, da die numerische Korrektur gleiche Werte wie bei der grafischen Korrektur ermittelt hat und die Inversion dasselbe Ergebnis wie INVERSION I ergeben würde. Für die INVERSION III stehen Temperaturdaten aus 79 Bohrungen zur Verfügung, weil nur in diesen Bohrungen einzelne BHT-Werte zur Korrektur zur Verfügung standen.

Ad 3.d.:

Die 1 BHT-Korrektur nach Leblanc et al. (1982) konnte für BHT-Werte aus 85 Bohrungen angewendet werden und wie zuvor ist auch hier für die restlichen Bohrungen die Korrektur des Spülungseinflusses nicht möglich, da entweder keine einzelnen Temperaturwerte gemessen wurden oder nur Daten aus hydraulischen Formationstests vorhanden sind. In Tabelle 6.2 sind einige Bohrungen und die durchgeführten Korrekturverfahren aufgelistet.

Die Ergebnisse aller Bohrungen sind für dieses Verfahren und der automatisierten Temperaturprognose in einer Tabelle im Anhang aufgelistet.

Durch den Vergleich der Ergebnisse aus den Verfahren in Tabelle 6.2 ist erkennbar, dass die INVERSION II teilweise sehr stark von den anderen Verfahren abweicht (rote Beschriftung). Der Grund könnte darin liegen, dass ein konstanter Wärmestrom über die gesamte Bohrlochlänge vorausgesetzt wird, aber dies eventuell nicht zutreffend ist (mögliche Advektion). Die Unterschiede zu den grafischen Korrekturen entstehen aufgrund der Abschätzung der Stillstandzeit und der Zirkulationsdauer (wobei letztere nur beim Horner Plot eine Rolle spielt). Der Vergleich der Ergebnisse aus den grafischen Korrekturen (Mittelwert) und dem numerischen Verfahren zeigt in nur ca. 10 % der korrigierten Werte eine starke Abweichung (mehr als 5 °C). Da diese Verfahren nur selten voneinander abweichen, kommt es bei INVERSION I und II zu Ergebnissen, die sich zum größten Teil nur im Bereich von Zehntel-Grad unterscheiden. Deshalb ist es ausreichend, die Ergebnisse, die aus einer der beiden Inversionen hervorgehen mit INVERSION III zu vergleichen. Aus der Gegenüberstellung ergibt sich, dass die Temperaturwerte aus der INVERSION III und II teilweise sehr unterschiedlich sind. Ein schon bereits erwähnter Grund könnte die Annahme eines konstanten Wärmestroms sein (Auftreten von Advektion). Ein weiterer Grund für die starken Schwankungen der INVERSION III könnten auch die einzelnen korrigierten BHT-Werte sein, die mitberücksichtigt werden. Die 1 BHT-Korrektur nach Leblanc et al. (1982) ist aufgrund der geschätzten Stillstandzeit nicht exakt,

6. Vorgehensweise bei der Untersuchung des Gebietes

sodass bei der INVERSION III fehlerbehaftete Werte für die Optimierung verwendet werden.

In nachfolgender Tabelle sind einige Bohrungen und die Ergebnisse der durchgeföhrten Korrekturverfahren aufgelistet.

Tabelle 6.2 Verschiedene Korrekturverfahren für mehrere BHT-Werte an ausgewählten Bohrungen; in rot: starke Abweichungen von den anderen Verfahren

Bohrung	Messteufe [m u. GOK]	BHT-Wert [°C]	Horner Plot [°C]	Lachenbruch & Brewer [°C]	numerisches Verfahren [°C]	Temperaturprognose II [°C]
010	2209	69; 71	71.7	78.9	77.5	75.7
	2809	77; 78	78.6	78.2	78.6	89.9
	3978	105; 106	106.3	107.3	107.3	114.3
015	1857	62; 63; 67; 72.4				
			70.1	68.6	70.3	69.1
021	469	40; 41; 42	43.6	43.5	42.8	37.3
025	2204	62; 63	65.4	65.9	65.2	70.1
	3463	86; 88	97.8	102	97.6	95.7
032	1454	43; 47	49.2	50.1	49.7	52.6
	2533	76; 77; 78	81	80	80.9	80.6
	2983	79; 80	81.8	82.4	81.6	90.8
038	3099	84; 85; 91	95.6	93	96.7	92.7
	2000	59; 60; 61;				
040		64	64.1	63.7	64	65.5
042	1808	58; 60	64.1	60.2	62.9	65.1
044	2996	83; 90	94	91	94.5	100.5
053	1525	54; 55	59.4	56.5	60.1	67.9
	1712	54; 61	81.4	79.3	86.8	73.4
057	1179	51; 52; 53	54.7	55.2	54.8	55.8
062	2925	88; 90	96.2	96.5	96.4	94.9
	3379	92; 93; 98	97.8	104.6	99.5	104.6
	1100	38; 39; 40	44.4	59	42.3	46.4
		30; 35; 37	39.9	38.5	37.7	38.7
088	1299	49; 50; 51	52.9	54	52.9	54.3
090	1706	60; 61; 63.5	65.3	63.8	65.3	66.8

In Tabelle 6.3 ist für die gleichen Bohrungen wie in Tabelle 6.2 (falls ein BHT-Wert vorhanden ist) die Korrektur für einen Wert nach Leblanc et al. (1982) und die INVERSION III, die diese korrigierten Werte mitberücksichtigt, dargestellt.

Tabelle 6.3 Vergleich von Temperaturwerten aus 1BHT-Korrektur und INVERSION III, in rot: starke Abweichung vom anderen Verfahren

Bohrung	Messteufe [m u. GOK]	BHT-Wert [°C]	1 BHT- Korrektur [°C]	Temperaturprognose III [°C]
10	1685	55	65	62.2
15	1459	56	61.6	59.1
25	2992	86	92	89
32	2040	67	71.5	68.9
40	1676	56	62.8	61
42	1927	59	64.8	61.6
44	1061	44	49.9	45.9
53	1225	46	47.9	55.1
62	3295	94	140.4	104.6
75	2291	34	35.4	35.1
88	1001	42	43.9	45
90	4020	102	116.7	153

Die 1BHT-Korrektur in Bohrung 062 hängt, wie auch bei den anderen Bohrungen, von mehreren Faktoren ab (Spülungstemperatur, Bohrlochradius, Stillstandzeit, ...) und kann durch falsche bzw. geschätzte Annahmen zu hoch sein. Die INVERSION III berücksichtigt zusätzlich zu den numerisch korrigierten Verfahren die Korrektur von einem BHT-Wert, der jedoch wegen der geschätzten Stillstandzeit sehr instabil ist, und dadurch auch die Prognose nicht notwendiger Weise korrekt sein muss. Die Darstellung der korrigierten Werte in Tabelle 6.3 ist in Hinblick auf die zuvor erwähnte Instabilität eventuell irreführend, da hauptsächlich Korrekturwerte dargestellt werden, die mit der 1 BHT-Korrektur nach Leblanc et al. (1982) gut übereinstimmen. Im Anhang sind alle korrigierten Werte aus jedem Verfahren und für jeden Messwert zu finden.

6. Vorgehensweise bei der Untersuchung des Gebietes

Für die Generierung der Temperaturkarten erfolgte keine Beschränkung auf ein einzelnes Verfahren, sondern es wurden Karten für gleiche Tiefen und für verschiedene Verfahren erstellt:

- Temperaturkarte I: aus grafisch korrigierten BHT- und DST-Werten
- Temperaturkarte II: aus INVERSION I
- Temperaturkarte III: aus INVERSION II
- Temperaturkarte IV: aus INVERSION III

Im letzten Arbeitsschritt erfolgen der Vergleich und danach die Einschränkung auf eines der Verfahren.

Ad 3.e.:

In diesem Arbeitsschritt wurden die Temperaturlogs (TH, ZKB) und die Temperaturwerte aus den DS-Tests auf deren Plausibilität überprüft, um sie für den nächsten Arbeitsschritt verwenden zu können.

Für die Bestimmung der thermischen Profile (vier Profile pro Bohrung) im nächsten Arbeitsschritt (4.) wurden die TH- und ZKB-Logs nur dann berücksichtigt, wenn keine DST-Werte vorhanden waren bzw. keine korrigierten Messwerte zur Verfügung standen. Dies ist bei fünf Bohrungen der Fall (001, 092, 093, 094, 095). Der Vergleich der verschiedenen thermischen Profile für die fünf Bohrungen ergab, dass sich die mit Hilfe der Logs erstellten Profile nur im geringen Maße von den anderen unterscheiden (ca. 2°C), wobei bei zwei Bohrungen (001, 093) der Unterschied deutlich höher ausfällt (ca. das Fünffache). Im Fall von TH-Logs wurde mit dem Start der Messung, wie bei den anderen bohrlochgeophysikalischen Messsonden, nicht lang genug gewartet, sodass nicht die korrekte Formationstemperatur gemessen wird. Die Stillstandzeit bei ZKB-Logs beträgt mindestens 24 Stunden, da dies der zur Erhärtung des Zements benötigten Zeit entspricht. Für die Erstellung der thermischen Profile sind die ZKB-Logs somit besser geeignet.

Ein Nachteil der Temperaturlogs als Hilfsmittel ist, dass alle Messungen aus den OMV Bohrungen nur analog zur Verfügung standen und sie zuerst digitalisiert werden mussten.

Die Daten aus den hydraulischen Formationstests wurden, wie auch die Logs, für die Erstellung der thermischen Profile herangezogen, jedoch mit dem Unterschied, dass die Temperaturangaben aus solchen DS-Tests der wahren Formationstemperatur entsprechen. Alle zur Verfügung stehenden Daten bis auf einen Temperaturwert, bei dem ein Gaszufluss festgestellt wurde, konnten für die Profile verwendet werden. Bei dem beobachteten Gaszufluss könnte es zur adiabatischen Abkühlung gekommen sein, sodass die gemessene Temperatur nicht mit der wahren Formationstemperatur übereinstimmt.

Die Analyse der Daten, aus den Temperaturlogs und der hydraulischen Formationstests, auf deren Plausibilität ergibt, dass vor allem Messwerte aus DS-Tests für die Darstellung der Temperaturverteilung im Bohrloch gut geeignet sind. Die Informationen aus den Logs sind dagegen nur mit Vorsicht zu betrachten und nur dann zu verwenden, wenn keine weiteren Möglichkeiten zur Verfügung stehen.

Ad. 4.:

Im vierten Arbeitsschritt werden jeweils vier Temperaturprofile pro Bohrung erarbeitet:

- PROFIL I: aus grafisch korrigierten Werten und Temperaturen aus DS-Tests (manuelle Erarbeitung)
- PROFIL II: aus INVERSION I (automat. Erarbeitung)
- PROFIL III: aus INVERSION II (automat. Erarbeitung)
- PROFIL IV: aus INVERSION III (automat. Erarbeitung)

Über die Profile kann der Temperaturgradient für jede Bohrung abgeleitet werden und weiters kann aus den thermischen Profilen die Temperatur für verschiedene Tiefen abgegriffen werden. Diese Stützstellen sind für die

6. Vorgehensweise bei der Untersuchung des Gebietes

Erstellung von Karten notwendig. Um genügend Temperaturwerte für die Temperaturkarten zu erhalten, wurde jedes Temperaturprofil um 20 % der gesamten Bohrlochlänge linear verlängert (Hurtig et al, 1992). Laut Hurtig et al. (1992) ist eine Verlängerung von 50 % möglich, jedoch ist ein konstanter Temperaturgradient in größeren Tiefen nicht notwendigerweise korrekt. Die durchschnittliche Tiefe im Untersuchungsgebiet beträgt ca. 2500 m u. GOK. Eine Verdoppelung würde Temperaturwerte in 5000 m Tiefe liefern, wobei keine zusätzlich gemessenen Daten in dieser Tiefe zum Vergleich zur Verfügung stehen.

a. Manuelle Erarbeitung:

Aus der Oberflächentemperatur (Ermittlung über empirische Formel – siehe Kapitel 5.3.3) und dem Mittelwert der grafisch korrigierten BHT-Daten bzw. den Temperaturangaben aus den DS-Tests wurde das PROFIL I erstellt. Die Werte wurden miteinander verbunden, sodass sich ein Temperaturverlauf mit der Tiefe ergab. In Abbildung 6.4 ist ein solches Profil für die Bohrung 057 dargestellt. Aus der Darstellung ist ersichtlich, dass der Temperaturgradient konstant ist.

Falls keine grafisch korrigierten BHT-Werte zur Verfügung standen, mussten die Logs für die Abschätzung des PROFIL I hinzugezogen werden. Dies traf auf fünf Bohrungen des Untersuchungsgebietes zu. Bei elf Bohrungen konnte das PROFIL I nur mit Hilfe von DST-Daten konstruiert werden und bei weiteren zwölf konnte kein Profil erstellt werden, weil keine grafischen Korrekturdaten, DST-Werte und Logs vorhanden waren.

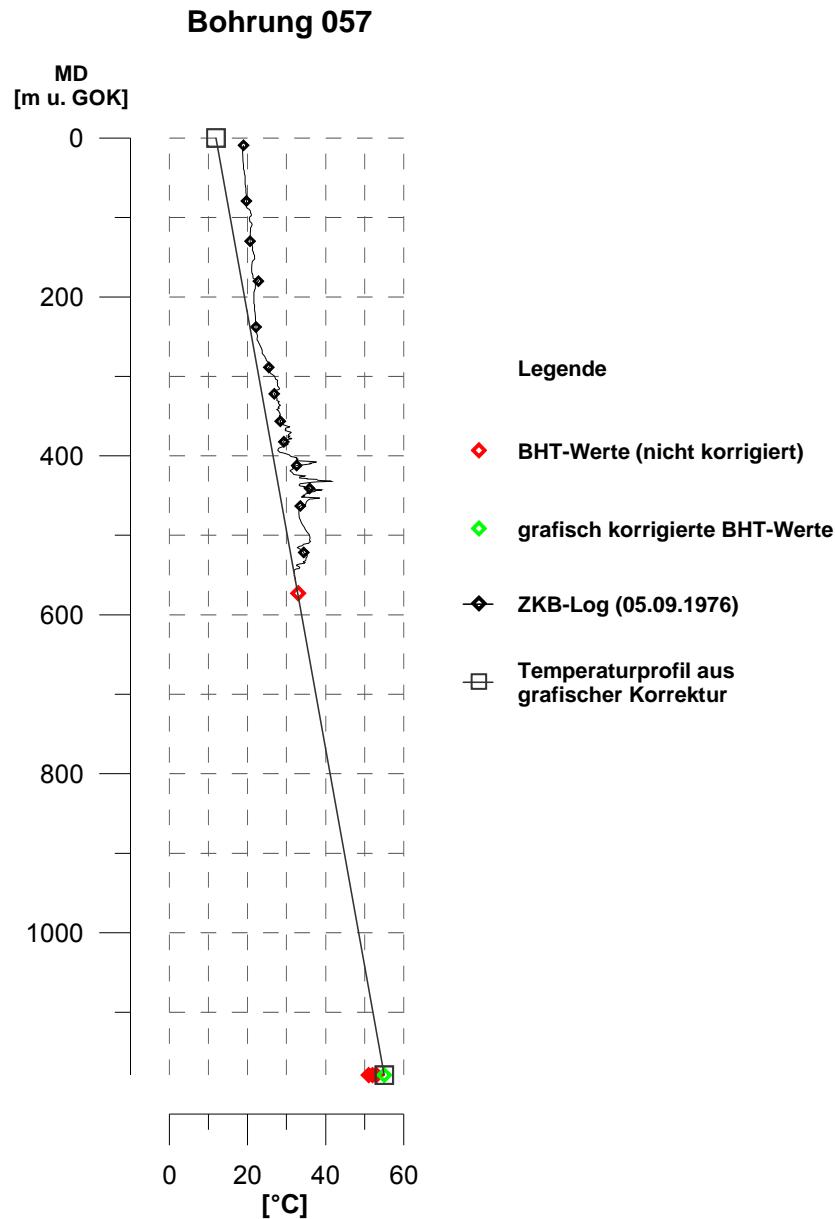


Abbildung 6.4 Manuell erarbeitetes thermisches Profil für die Bohrung 057

b. Automatische Erarbeitung:

Aus der automatisierten Temperaturprognose (Kapitel 5.3.3) erhält man zusätzlich zum terrestrischen Wärmestrom ein Temperaturprofil für jede Bohrung in einem bestimmten Tiefenintervall. Das Tiefenintervall wird vor der Durchführung der inversen Optimierung definiert. Da für fast jede Bohrung dieses Korrekturverfahren dreimal (INVERSION I, II und III) durchgeführt wurde, ergaben sich ebenso viele thermische Profile.

6. Vorgehensweise bei der Untersuchung des Gebietes

Das PROFIL II berücksichtigte die Werte aus dem Horner- und Lachenbruch & Brewer-Verfahren (Mittelwert). Aus der INVERSION II, die statt der grafischen die numerische Korrektur mit einbezieht, erhielt man das PROFIL III. Bei INVERSION III wurden einzelne korrigierte BHT-Werte für das PROFIL IV zu den numerisch korrigierten hinzugezogen.

Das PROFIL II konnte nur bei 92 Bohrungen erstellt werden. Bei 85 von 111 Bohrungen wurde PROFIL III automatisch erstellt. Das PROFIL IV konnte bei 34 Bohrungen nicht dargestellt werden. Der Grund dafür ist das Fehlen von einzelnen BHT-Werten.

In Abbildung 6.5 sind auf der linken Seite für Bohrung 057 die Temperaturverläufe der vier Bearbeitungsvarianten zu sehen. Die Profile weichen kaum voneinander ab. Aus diesem Grund ist auf der rechten Seite der Abbildung 6.5 die Abweichung der automatisch erarbeiteten PROFILE zum manuell erstellten PROFIL veranschaulicht. Es ist ersichtlich, dass die Abweichung mit der Tiefe zunimmt, wobei der maximale Wert 1.2 °C beträgt. Die INVERSION III führt zu einem Profil, das tendenziell einen etwas höheren Wert (um 1 °C) aufweist. Die abgegriffenen Werte (Stützstellen) entsprechen der Temperatur bei 0 m, 1000 m, 1500 m, usw. bis 4000 m u. GOK und werden für die Temperaturkarten-Erstellung verwendet. Da die Bohrung 057 etwas mehr als 1100 m u. GOK abgeteuft wurde, liegt nur eine Stützstelle bei 1000 m u. GOK vor. Eine Verlängerung um 20 % hätte in diesem Fall zu keinem weiteren Wert (in 1500 m) geführt.

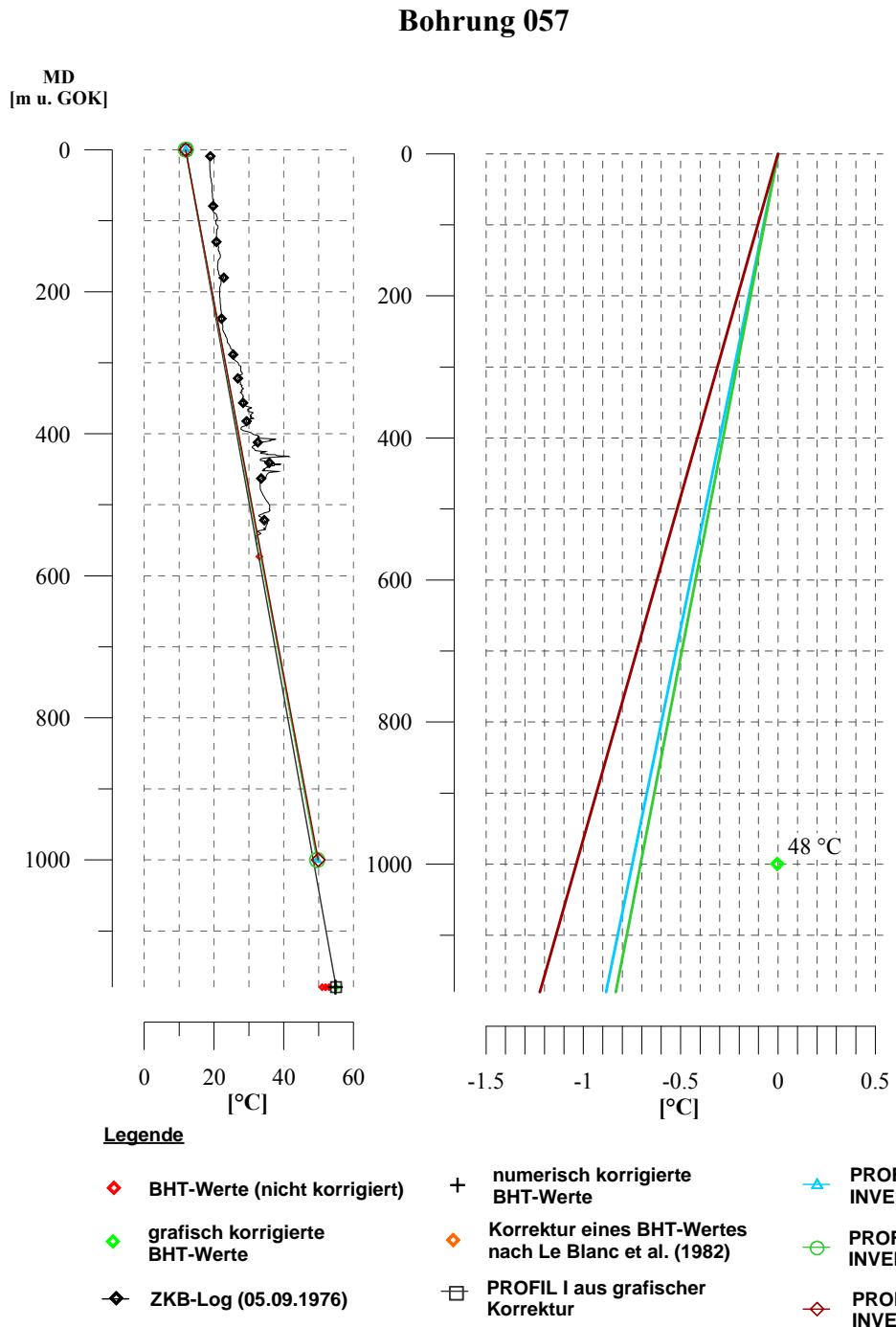


Abbildung 6.5 links: Thermische Profile aus der automatisierten Temperaturprognose für Bohrung 057; rechts: Abweichung der automatisierten PROFILE (II, III, IV) von manuell erstelltem PROFIL I

Beim Großteil der Bohrungen ist das Verhalten der thermischen Profile (konstanter Temperaturgradient) zueinander ähnlich, wie bei der in Abbildung 6.5 dargestellten Bohrung. Bei Einigen kommt es zu größeren Abweichungen,

6. Vorgehensweise bei der Untersuchung des Gebietes

weil das PROFIL I entweder die Temperaturlogs oder die Temperaturwerte aus den hydraulischen Formationstests (DS-Tests) als Stützstellen verwendet und die INVERSION I, II und III niedrigere Werte liefern als das thermische Profil, das sich aus den DST-Daten oder Logs ergibt.

Im Anhang sind die Temperatur-Teufen Plots für signifikante Bohrung des Untersuchungsgebietes zu finden.

Ad 5. und 6.:

Die tektonischen Einheiten, die BHT-Werte (korrigiert und unkorrigiert), der Temperaturgradient, das thermische Profil, etc. wurden im fünften Arbeitsschritt zusätzlich in Excel-Tabellen für alle Bohrungen angelegt und mit Hilfe des Programms Grapher 5 konnte im sechsten Arbeitsschritt entsprechende Temperatur-Teufen Plot erstellt werden.

Ein Beispiel für einen derartigen Plot ist in Abbildung 6.6 zu sehen. Auf der linken Seite sind die Tiefe in m u. GOK und die durchteufelten tektonischen Haupteinheiten abgebildet. In der Mitte ist das Temperatur-Teufen Diagramm mit den vorhandenen Informationen für die jeweilige Bohrung dargestellt. Für die Bohrung 057 aus Abbildung 6.6 stehen ein ZKB-Log, nicht korrigierte Temperaturwerte, grafisch und numerisch korrigierten BHT-Werte sowie die jeweils korrigierten Temperaturen zur Verfügung. Des Weiteren sind die vier Temperaturprofile dargestellt, die sich im Fall von Bohrung 057 kaum voneinander unterscheiden.

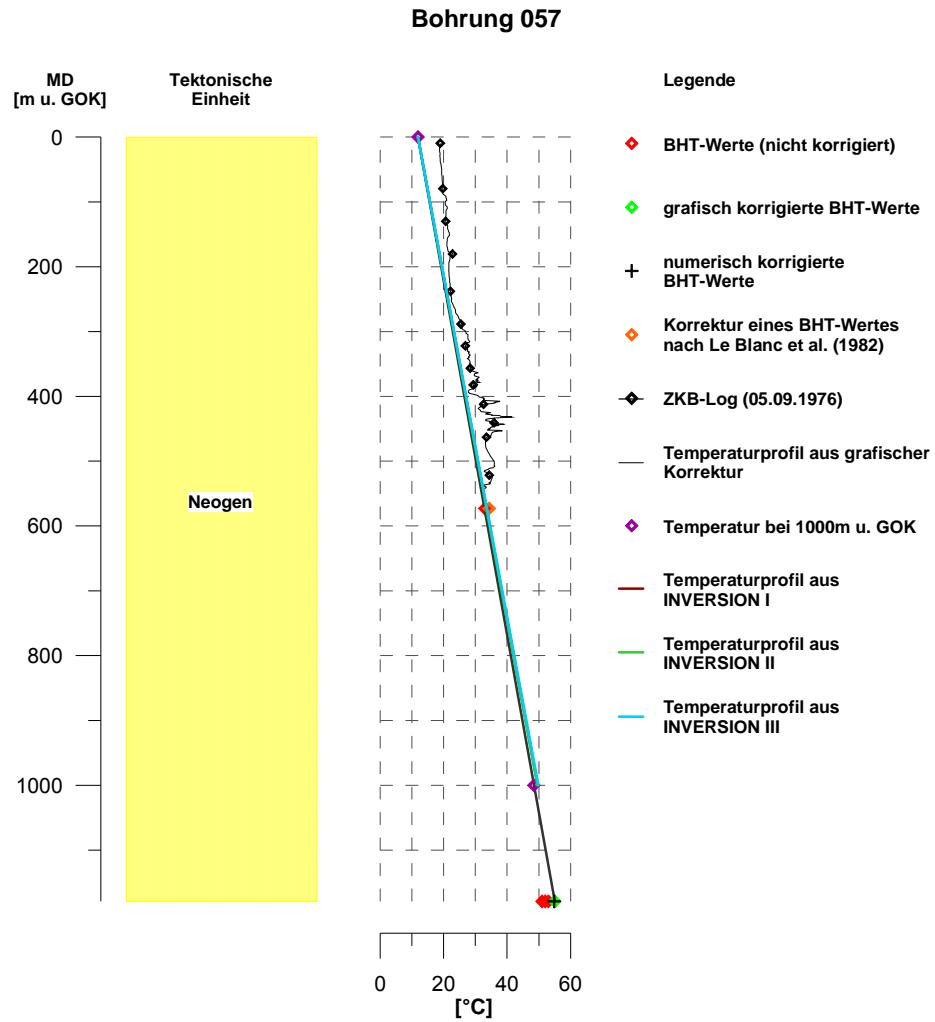


Abbildung 6.6 Temperatur-Teufen Profil für die Bohrung 057

Die Zunahme der Temperatur mit der Tiefe verläuft für die Bohrung 057 linear und es ergibt sich ein Gradient von ca. 37 °C/km.

Die Temperaturgradienten, aus den Profilen der zweiten und dritten Inversion sowie der grafischen Verfahren, können in nachfolgender Tabelle (Tabelle 6.4) für einige Bohrungen aus dem Untersuchungsgebiet abgelesen werden. Der durchschnittliche Wert für das gesamte Gebiet beträgt ca. 31 °C/km.

6. Vorgehensweise bei der Untersuchung des Gebietes

Tabelle 6.4 Durchschnittliche Temperaturgradient (über Gesamtlänge) für einige Bohrungen in [°C/km]

Bohrungen	graphische Korrektur	Prognose II	Prognose III
	Gradient [°C/km]		
010	23.4	26.7	26.1
015	40.2	31.9	32.2
108	68.8	54.4	58.7
025	25.8	24.2	24.8
032	33.1	26.2	26.2
040	27.4	26.9	27.2
042	29.6	27.6	24.4
044	22.3	29.7	30
053	40.4	36	34.4
057	36.5	37.3	37.6
062	25.1	25.1	25.6
088	31.8	32.7	32.6
090	26.7	27.7	32.9

Einige Temperaturgradienten konnten aufgrund mangelnder Informationen (keine BHT- und DST-Werte sowie Logs) nicht ermittelt werden. Die Temperaturgradienten für fast alle Bohrungen sind im Anhang zu finden.

7 Erstellung von Temperaturkarten

In diesem Arbeitsschritt werden die Erstellung der Temperaturkarten und der Vergleich der verschiedenen Temperaturkarten erörtert.

Die Karten wurden mit Hilfe des Programms „Surfer 8“ (Golden Software) erstellt. Die Generierung dieser Karten erfolgt für sieben verschiedene Tiefenanschnitte, beginnend bei 1000 m u. GOK in 500 m-Schritten bis in einer Tiefe von 4000 m u. GOK. Da im vierten Arbeitsprozess mehrere thermische Profile für jede Bohrung erzeugt wurden, wurden für alle aus diesen Profilen ermittelten Temperaturwerte Karten erstellt.

Wie schon zuvor erwähnt, werden die aus den thermischen Profilen (Arbeitsschritt 4.) erzeugten Karten, respektive die vier verschiedene Verfahren, miteinander verglichen. Auf Basis des Vergleichs der vier Korrekturverfahren wird jenes ausgewählt, welches die Temperaturverteilung in den verschiedenen Tiefen am Repräsentativsten darstellt.

Die Temperaturwerte in den jeweiligen Tiefen werden aus den im vierten Arbeitsschritt ermittelten Profilen und den zugehörigen Temperaturgradienten abgeleitet. Die Dichte an Temperaturinformationen nimmt mit der Tiefe ab, sodass in 4000 m u. GOK nur sehr wenige Daten zur Verfügung stehen. Die Interpretation der Temperaturkarten erfolgt lediglich bis in eine Tiefe von 2500 m u. GOK, da in weiterer Folge eine geothermische Interpretation aufgrund einer mangelnden Datengrundlage erschwert wird. Die Interpretation erfolgt in Kapitel 8.

Falls zusätzlich Angaben der Temperatur aus den hydraulischen Formationstests in den jeweiligen Tiefen bzw. innerhalb eines Abschnitts von ± 30 m (in Bezug auf diese Tiefen) vorhanden sind, wurden sie für die Validierung der modellierten Temperaturdaten herangezogen. Dadurch ist auf den ersten Blick ersichtlich, inwieweit die ermittelten Werte konsistent sind. Die Wahl des Abschnittes von ± 30 m erfolgt aus der Tatsache, dass sich bei einem durchschnittlichen Temperaturgradienten von ca. $31^{\circ}\text{C}/\text{km}$ (siehe Arbeitsschritt 5. und 6.) die Temperatur bei einem Intervall von 30 m um etwa 1°C verändert und damit noch ein Vergleich von ermittelten Temperaturen und DST-Werten möglich ist. Bei

einem größeren Intervall ist ein konstanter Temperaturgradient nicht notwendigerweise gegeben.

Zur Interpolation zwischen den unregelmäßig verteilten Werten stehen im Programm „Surfer 8“ verschiedene Methoden zur Verfügung. Die Einschränkung auf nur eine Methode ist notwendig, da sich sonst die Anzahl der Temperaturkarten vervielfachen würde. Die für die Kartenerstellung verwendete Interpolationsmethode lautet „inverse distance to a power“ (IDTAP, Power = 2) und ist im Allgemeinen die meistverwendete Methode. Hierbei handelt es sich um eine gewichtete Mittelungsmethode in Bezug auf den Abstand von Gitterpunkten zueinander. Mit Hilfe dieser Interpolation werden den Gitterpunkten Temperaturen zugewiesen. Die Daten an den Knotenpunkten werden so gewichtet, dass der Einfluss von einem benachbarten Punkt mit zunehmender Entfernung von diesem quadratisch abnimmt. Dieses Verfahren besitzt den Nachteil sogenannte „bull’s-eyes“ zu produzieren, d.h., es werden um einen Datenpunkt konzentrische Konturen (Isolinien) gebildet. Dies führt zu vielen lokalen Anomalien, die mit großer Wahrscheinlichkeit diffiziler Herkunft sind. Aus diesem Grund wird zum Schluss noch ein Mittelwertfilter auf die Karten bis in 2500 m Tiefe angewendet.

7.1 Temperaturverteilung in 1000 m und 1500 m u. GOK

7.1.1 1000 m u. GOK

Da die Anzahl der Bohrungen für die verschiedenen Verfahren nicht die gleiche ist und auch die Möglichkeit zur Anwendung von verschiedenen Verfahren nicht bei jeder Tiefe gegeben ist, stehen für die Temperaturkarten aus den vier Verfahren unterschiedlich viele Bohrungen zur Verfügung. Bei der Erstellung der Temperaturkarte I konnten 91 Daten und bei denen aus der INVERSION I, II und III jeweils 89, 81 und 73 Daten verwendet werden.

Die Temperaturwerte in den Karten I, II und III (a. und b. aus Abbildung 7.1 und a. aus Abbildung 7.2) liegen größtenteils im Bereich von 40 und 45 °C. Die

Temperaturkarte IV ist durchschnittlich um 2 °C kühler. Die größeren Abweichungen treten hauptsächlich bei den positiven thermischen Anomalien auf. Der regionale Trend, die Zunahme der Temperatur von Westen nach Osten, ist bei allen vier Temperaturverteilungen in Abbildung 7.1 und Abbildung 7.2 deutlich erkennbar. Bei der Karte IV (b. in Abbildung 7.2) ist die Trennung zwischen kühleren und wärmeren Bereich jedoch weniger stark ausgeprägt.

Die negativen thermischen Anomalien im Westen beschränken sich aufgrund der Interpolationsmethode (bull's-eyes) ausschließlich auf die Bohrungen. Deshalb kann man davon ausgehen, dass im gesamten linken Bereich der Karten eher niedrigere Werte zu erwarten sind als dargestellt wird. Die Temperaturen der verschiedenen Karten unterscheiden sich in diesem Gebiet kaum voneinander. Die Verteilung der Temperatur in diesem Bereich ändern sich nur aufgrund der Tatsache, dass bei den Karten in Abbildung 7.2 die Informationen aus einer Bohrung entfallen. Für diese Bohrung wurde keine numerische Korrektur bzw. 1BHT-Korrektur nach Leblanc et al. (1982) durchgeführt, da nur DST-Werte zur Verfügung gestanden sind und somit die INVERSION II und III entfallen sind.

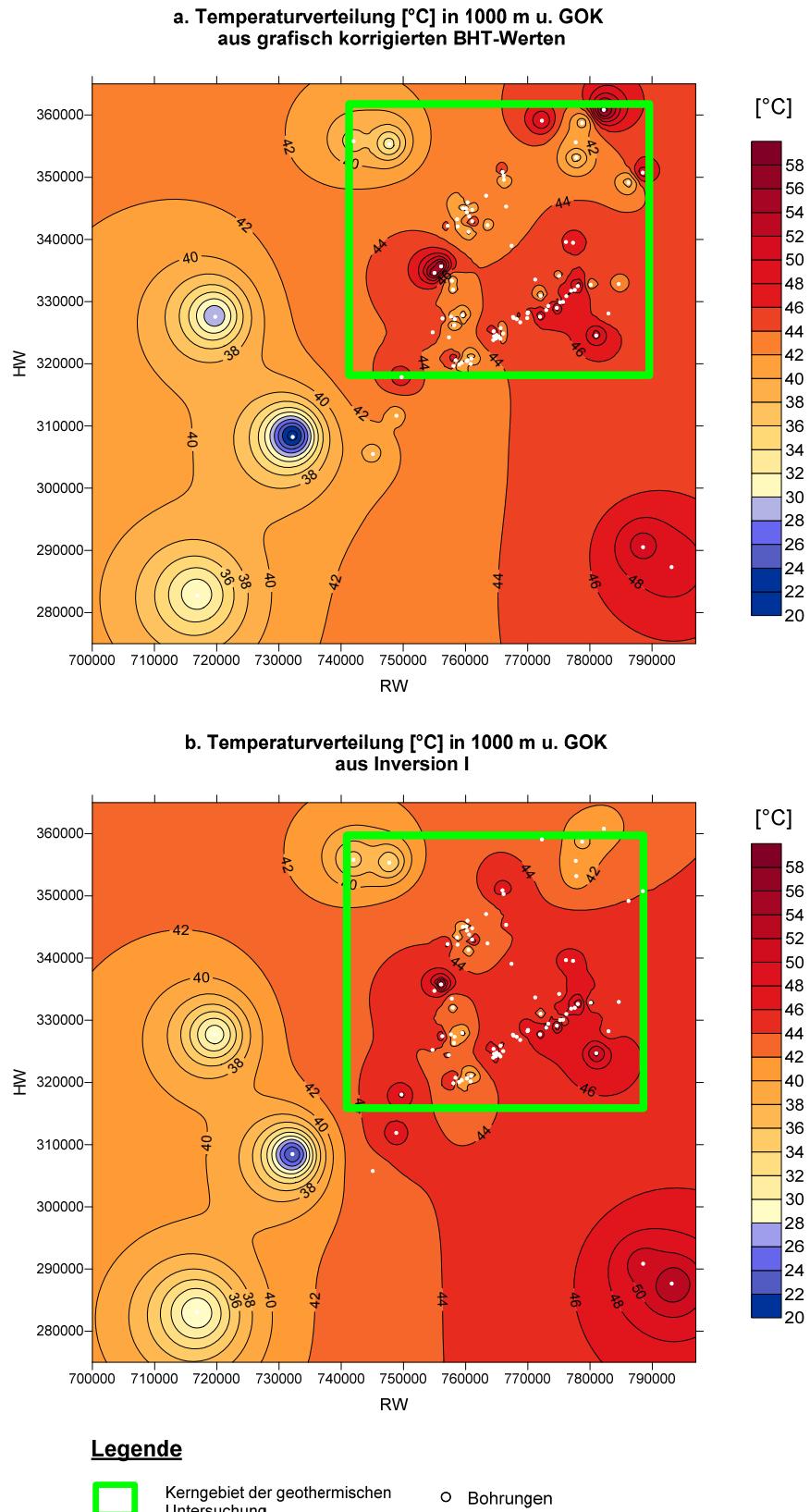
Im Norden – am Rand des Kerngebietes (grün umrandetes Gebiet) – herrschen in dieser Tiefe ebenfalls niedrigere Temperaturen (zwischen 32 und 36°C). Im Süden des Kerngebietes ist nur auf der Temperaturkarte IV (b. in Abbildung 7.2) eine lokale Anomalie mit ca. 32 °C ersichtlich, weil für die anderen drei Temperaturkarten der Messwert nicht korrigiert werden konnte. Bei dieser Bohrung wurde ein Gaszutritt festgestellt, der für diesen niedrigen Wert verantwortlich ist.

Die positiven thermischen Anomalien befinden sich mit Ausnahme der Bohrungen im Südosten im Kerngebiet der geothermischen Untersuchungen. Die Werte im Nordosten sind nur in der Temperaturkarte I sehr hoch (ca. 50 und 56 °C) und in den anderen drei weitaus geringer (bis zu ca. 10 °C Unterschied), wobei wie zuvor eine der Bohrungen nur für die Temperaturkarten I und II vorhanden ist. Im Westen des Kerngebietes herrschen nur in den Temperaturkarten I, II und III (a., b. in Abbildung 7.1 und a. in Abbildung 7.2) höhere Werte (> 50 °C). In der letzten Darstellung (b. in Abbildung 7.2) liegen die Temperaturwerte unter 45 °C. Im Südosten des Kerngebietes trifft man auf höhere

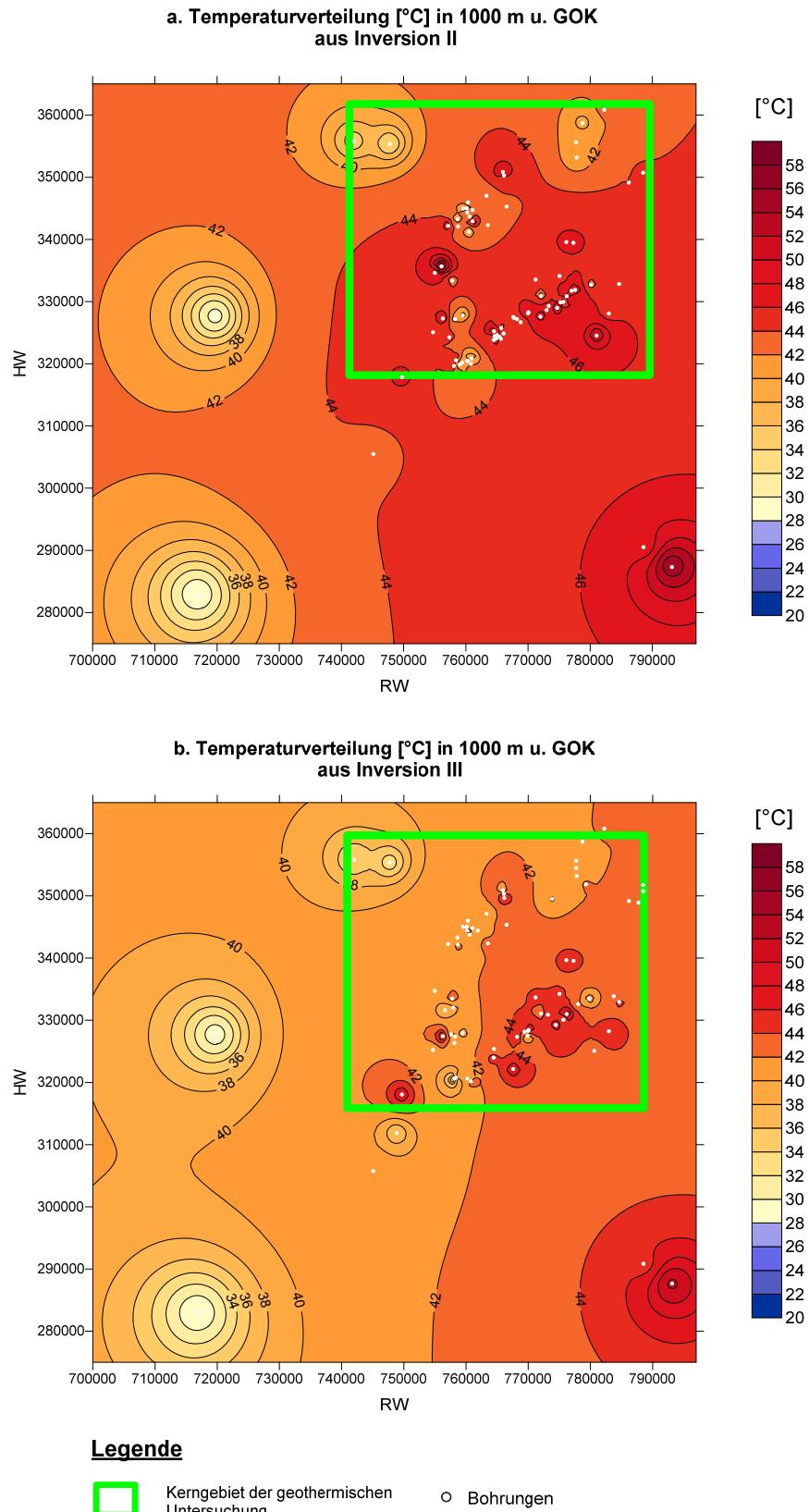
Temperaturwerte – ab ca. 50 °C in Karte I bis 52 °C in Karte II und III. Bei der Temperaturverteilung von Abbildung 7.2 b. sind gemäßigte Temperaturen ersichtlich (ca. 43 °C).

Die letzte deutliche positive Anomalie (≥ 50 °C) befindet sich im Südosten der Temperaturkarten. Auch in diesem Bereich sind in Abbildung 7.2 b. niedrigere Werte im Vergleich zu den anderen Darstellungen anzutreffen.

Im Kerngebiet der Untersuchungen sind aufgrund der Vielzahl an Bohrungen und ihrer unregelmäßigen Verteilung über das Gebiet, viele lokale Anomalien vorhanden, die bei Karte I sehr stark ausgeprägt sind. Mit Hilfe der INVERSION I, II und III ist eine Glättung in dieser Region deutlich erkennbar. Die Glättung wird von Verfahren zu Verfahren immer stärker, jedoch ist auch die Abnahme der Anzahl der Bohrungen in dieser Hinsicht zu berücksichtigen. Der Umstand, dass nicht für jede Karte Temperaturwerte vorhanden sind, führt zu einem verzerrten Bild der Temperaturverteilung in der Tiefe von 1000 m u. GOK.



**Abbildung 7.1 Temperaturkarten für 1000 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren:
a. grafisch korrigierten BHT- und DST-Werten und b. Inversion I**



**Abbildung 7.2 Temperaturkarten für 1000 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren:
a. Inversion II und b. Inversion III**

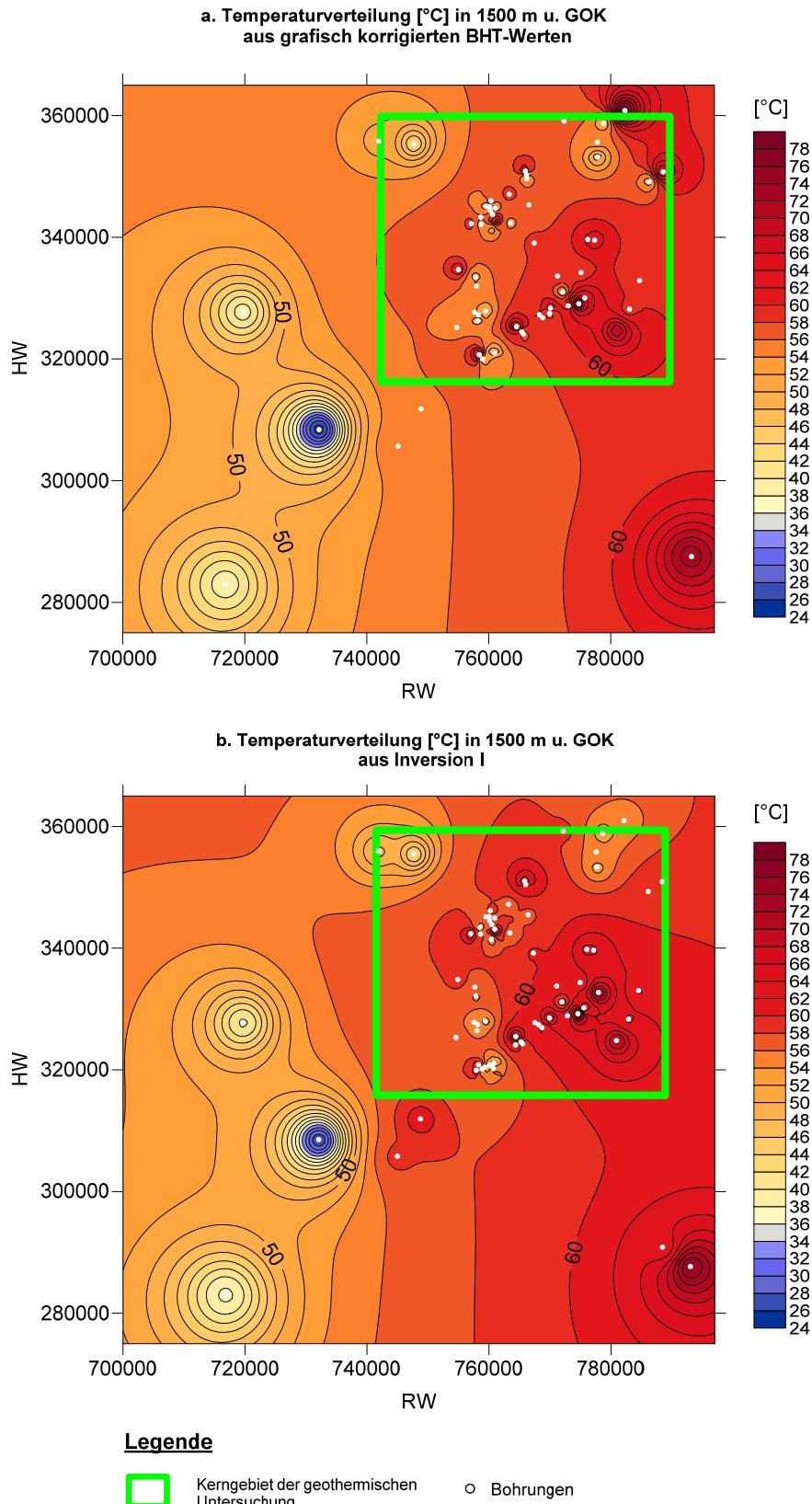
7.1.2 1500 m u. GOK

Die Anzahl der zur Verfügung stehenden Bohrungen für die Temperaturverteilung in dieser Tiefe ist um etwa 20 % geringer als zuvor (siehe Kapitel 7.1.1). Für die Karten I, II, III und IV werden jeweils 69, 69, 61 und 65 Temperaturwerte aus den Bohrungen verwendet. Die Temperaturen liegen in den Darstellungen hauptsächlich im Bereich von 54 °C und 60 °C. Die Temperaturzunahme von Westen nach Osten ist auch in dieser Tiefe deutlich erkennbar (Abbildung 7.3 und Abbildung 7.4).

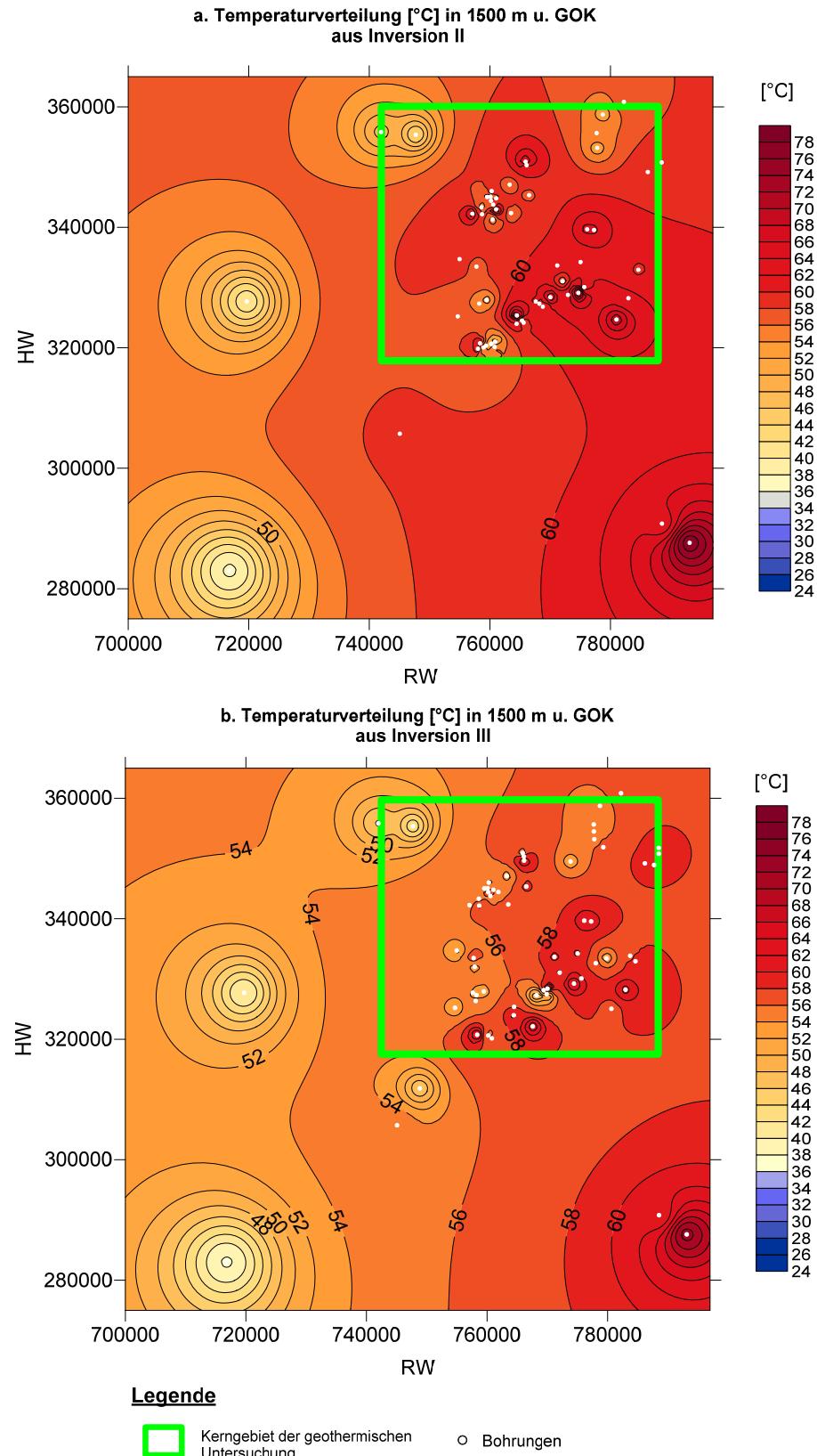
Im Südwesten des Untersuchungsgebietes sind wiederum die niedrigsten Temperaturen zu finden. Der minimale Wert beträgt 25 °C. In den Temperaturkarten III und IV stehen von der Bohrung mit dem niedrigsten Wert keine Daten zur Verfügung, sodass bei der Interpolation für dieses Gebiet höhere Werte bestimmt werden, die angesichts der bekannten DST-Daten mit Vorsicht zu betrachten sind. Die Temperaturen sind in diesem Bereich um mindestens 20 °C höher als sie tatsächlich gemessen wurden. Im Kerngebiet befindet sich im nordwestlichen Teil mit 44 °C der kühlsste Bereich. In einer der Bohrungen im Nordwesten wurde der Zutritt von frischem Wasser festgestellt, der zu dieser Abkühlung geführt haben kann.

Die Maximalwerte mit 78 °C sind am östlichen Rand des gesamten Untersuchungsgebietes und im Kerngebiet anzutreffen.

Der Vergleich der vier Darstellungen zeigt, dass sich aus der INVERSION III insgesamt niedrigere Werte ergeben und die Temperaturen kaum über 60 °C hinausreichen. Die Temperaturverteilung ist ähnlich der in 1000 m u. GOK. Außer den im Mittel um etwa 10 °C höheren Temperaturen, bedingt durch den Gradienten, sind kaum Unterschiede auszumachen. Die etwas geringere Anzahl der Bohrungen bzw. Daten führt eventuell zu unvollständigen Abbildungen, jedoch stehen noch genügend Informationen zur Verfügung um einen regionalen Trend klar zu erkennen.



**Abbildung 7.3 Temperaturkarten für 1500 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren:
a. grafisch korrigierten BHT- und DST-Werten und b. Inversion I**



**Abbildung 7.4 Temperaturkarten für 1500 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren:
a. Inversion II und b. Inversion III**

7.2 Temperaturverteilung in 2000 m und 2500 m u. GOK

7.2.1 2000 m u. GOK

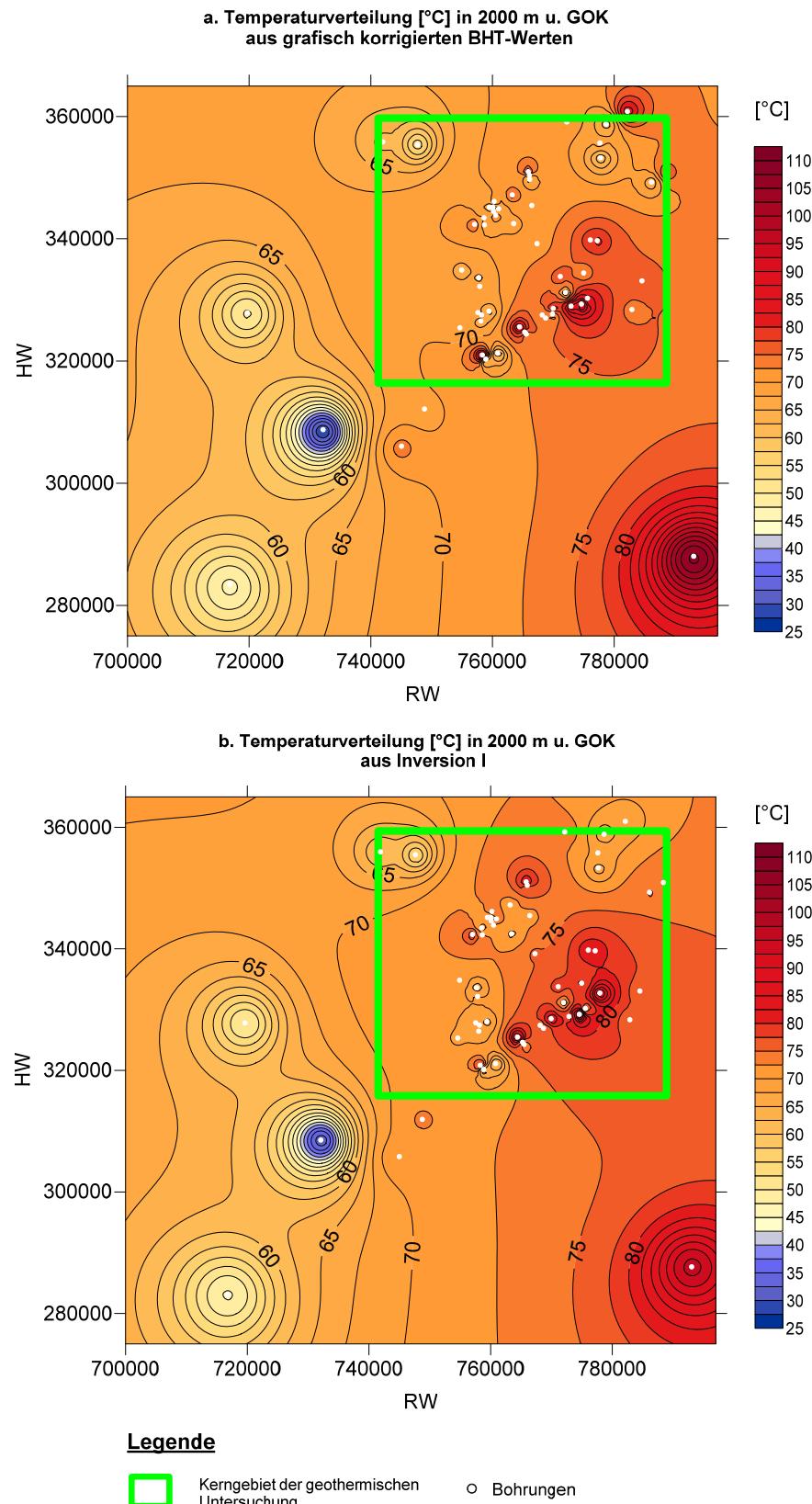
In dieser Tiefe sind für die ersten drei Karten durchschnittlich 10 Bohrungen weniger vorhanden, als in 1500 m Tiefe. Im Falle der INVERSION III reduziert sich die Zahl der Bohrungen von 65 auf nur 61. Die Temperaturen aus den vier Karten liegen überwiegend im Bereich von 65 und 75 °C.

Die Zunahme der Temperatur von Westen nach Osten ist in allen vier Abbildungen erkennbar, wobei der Trend in Temperaturkarte I am Stärksten ausgeprägt ist. Wie auch in den vorherigen Tiefen erscheinen die Darstellungen (Abbildung 7.5 und 7.6) von Verfahren zu Verfahren geglättet.

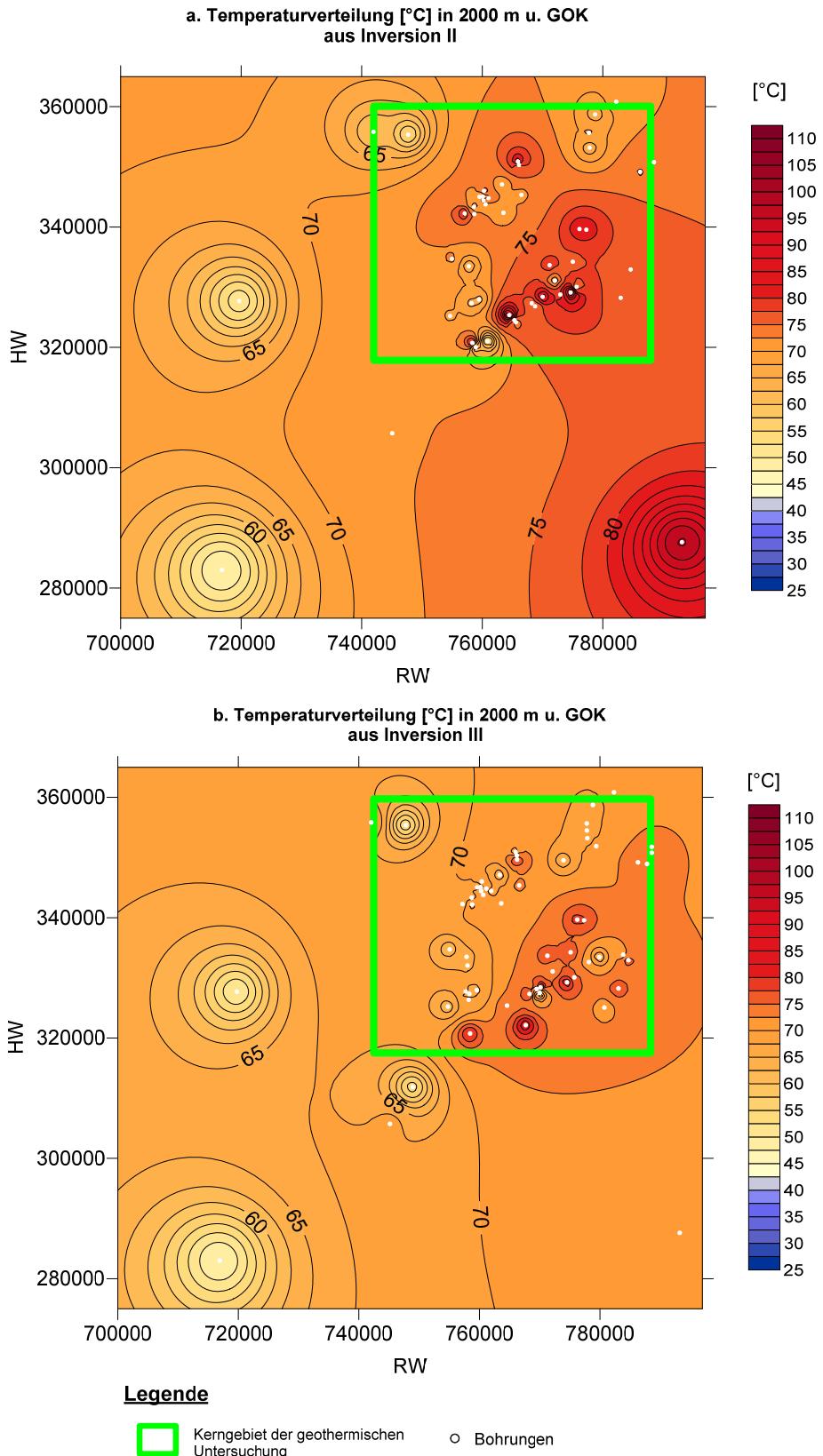
Die kühleren Bereiche sind auch in diesem Tiefenabschnitt im Südwesten des Gebietes anzutreffen. Die niedrigste Temperatur beträgt 25 °C. Im Kerngebiet befinden sich die kühleren Bereich im Westen (Abbildung 7.5 a. und Abbildung 7.6 b.) und Nordwesten (Abbildung 7.5 b. und Abbildung 7.6 a.), wobei die kühleren Bereiche Temperaturen unter 70 °C entsprechen. Der niedrige Temperaturwert im Süden des Kerngebietes (Abbildung 7.5 a. und b. und Abbildung 7.6 a.) ist kein gemessener Wert, sondern wurde um etwa 20 % der Bohrlochlänge linear extrapoliert und ist deshalb mit Vorsicht zu betrachten.

Die höchsten Temperaturwerte sind am südöstlichen Rand des gesamten Untersuchungsgebietes und im Kerngebiet anzutreffen. Die Maximaltemperatur im Kerngebiet beträgt 110 bzw. 90 °C.

Wie bei 1000 und 1500 m u. GOK ist die Temperaturzunahme Richtung Osten auch in dieser Tiefe klar erkennbar. Der Vergleich der vier Darstellungen zeigt, dass sich aus der INVERSION III deutlich niedrigere Werte ergeben und die Temperaturen kaum über 70 °C hinausreichen. Da die Anzahl der Bohrungen mit der Tiefe abnimmt, wird mit jeden 500 m-Schritt die Unsicherheit etwas größer und die Interpretation dadurch erschwert.



**Abbildung 7.5 Temperaturkarten für 2000 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren:
a. grafisch korrigierten BHT- und DST-Werten und b. Inversion I**



**Abbildung 7.6 Temperaturkarten für 2000 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren:
a. Inversion II und b. Inversion III**

7.2.2 2500 m u. GOK

Für die Erstellung der Temperaturkarten in 2500 m u. GOK wurden Daten aus 45, 44, 39 bzw. 52 Bohrungen (grafische Korrektur, INVERSION I, II bzw. III) verwendet. Die Anzahl der vorhandenen Temperaturdaten ist im vierten Verfahren genauso wie in 2000 m u. GOK nicht so stark zurückgegangen (< 10). Der Grund dafür ist, dass in vielen Bohrungen nur einmalige Messungen der Temperatur stattgefunden haben, die bei den anderen Korrekturverfahren aufgrund ihrer Voraussetzungen nicht berücksichtigt werden können (Kapitel 5.3). Die Temperaturen, die sich aus der Kartengenerierung ergeben, liegen größtenteils im Bereich zwischen 72 und 86 °C.

Die in Richtung Osten zunehmenden Temperaturen sind in dieser Tiefe im Vergleich zum vorherigen Tiefenabschnitt weniger deutlich erkennbar (Abbildung 7.7 und Abbildung 7.8). Es wäre in der ersten Darstellung (Abbildung 7.7a) noch eher möglich den regionalen Trend zu deuten. Die Temperaturen sind insgesamt relativ gleichmäßig verteilt.

Der kühlste Bereich (< 40 °C) in diesem Tiefenabschnitt ist unterhalb des südwestlichen Endes des Kerngebietes. Die niedrigsten Werte sind mit 25 °C in Abbildung 7.7 zu sehen.

Die höchsten Temperaturwerte sind im Süden bzw. am südöstlichen Rand des Kerngebietes zu finden. Die Maximaltemperatur im Kerngebiet beträgt ca. 115 °C (a. aus Abbildung 7.8). Die Bereiche mit höheren Temperaturen sind auf allen vier Abbildungen relativ gleichmäßig verteilt.

Es kann festgehalten werden, dass eine Temperaturzunahme in nordöstlicher Richtung in dieser Tiefe erkennbar ist. Der Vergleich der vier Darstellungen zeigt, dass sich aus der INVERSION III wieder niedrigere Werte ergeben. Die Verringerung der Anzahl an Bohrungen mit der Tiefe führt zu noch größeren Unsicherheiten bei der Interpretation in 2500 m u. GOK.

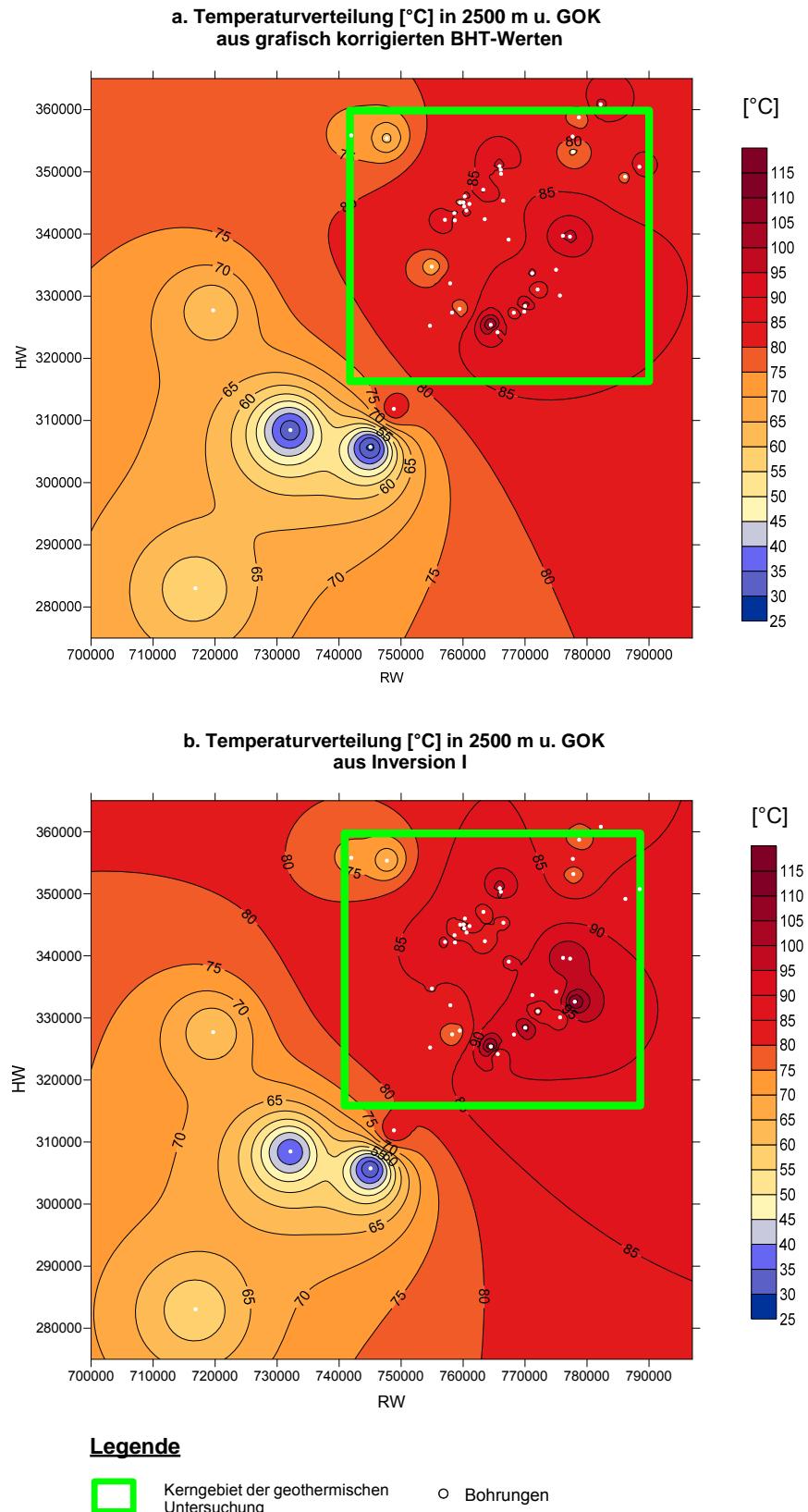
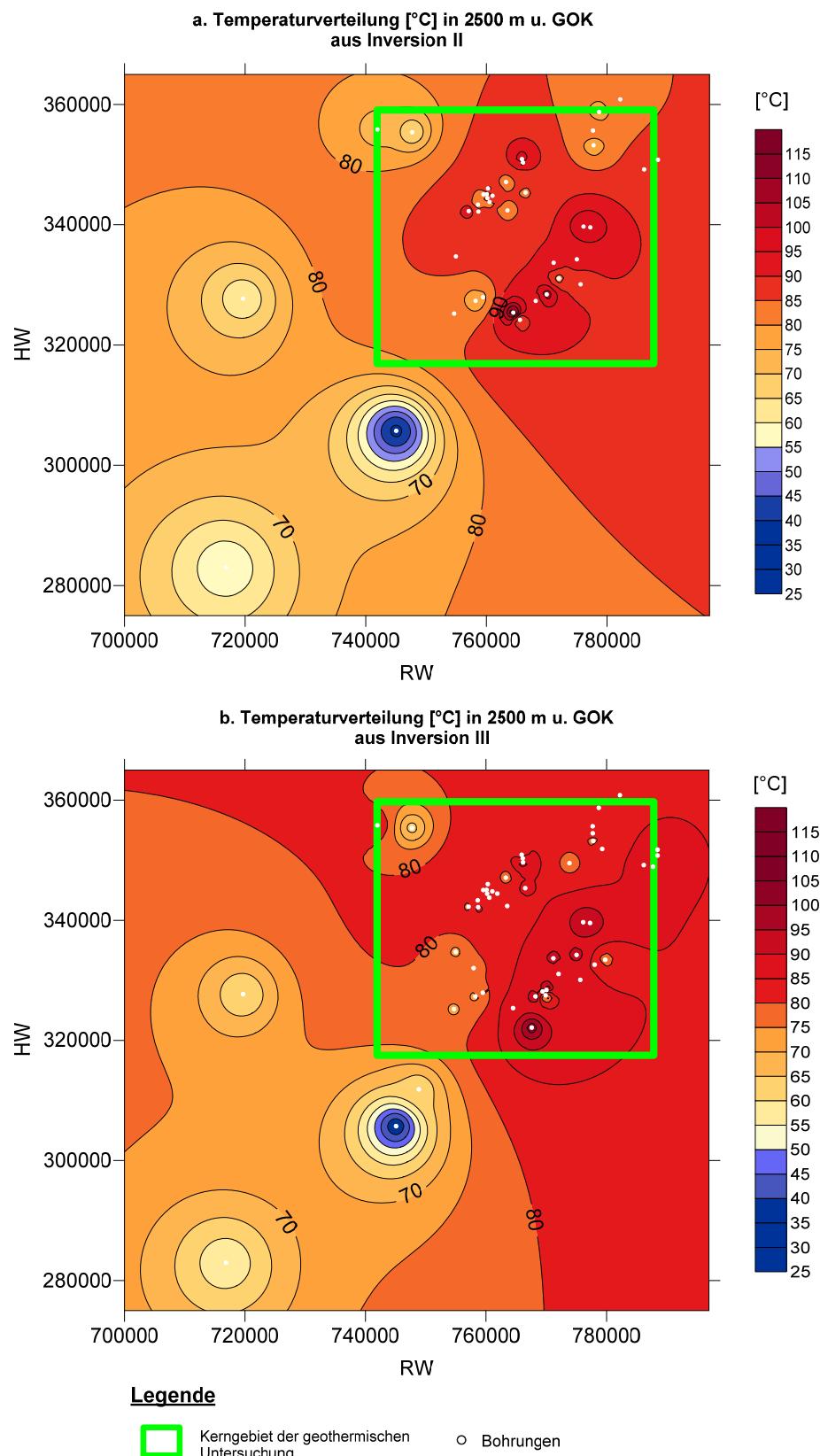


Abbildung 7.7 Temperaturkarten für 2500 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren:
a. grafisch korrigierten BHT- und DST-Werten und b. Inversion I



**Abbildung 7.8 Temperaturkarten für 2500 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren:
a. Inversion II und b. Inversion III**

7.3 Temperaturverteilung in 3000 m, 3500 m und 4000 m u. GOK

7.3.1 3000 m und 3500 m

Die Anzahl der Bohrungen für die zwei Tiefenabschnitte hat sich nur noch geringfügig geändert. Es konnten 40, 39, 34 und 43 Bohrungen in 3000 m u. GOK für die Erstellung der vier Temperaturkarten (grafische Korrektur, INVERSION I, II und III) herangezogen werden. In 3500 m u. GOK sind noch 32, 33, 28 und 36 Bohrungen zur Verfügung gestanden, wobei bei einigen Bohrungen der Temperaturwert nicht gemessen, sondern extrapoliert worden ist.

Die Temperaturen im ersten Tiefenabschnitt (3000 m) befinden sich durchschnittlich in einem Bereich zwischen 90 und 100 °C. Im zweiten Abschnitt liegen die Temperaturwerte im Kerngebiet größtenteils zwischen 105 °C und 115 °C. Außerhalb des Kerngebietes können keine Aussagen getroffen werden, da entweder keine Bohrungen vorhanden sind oder die Werte ausschließlich extrapoliert wurden.

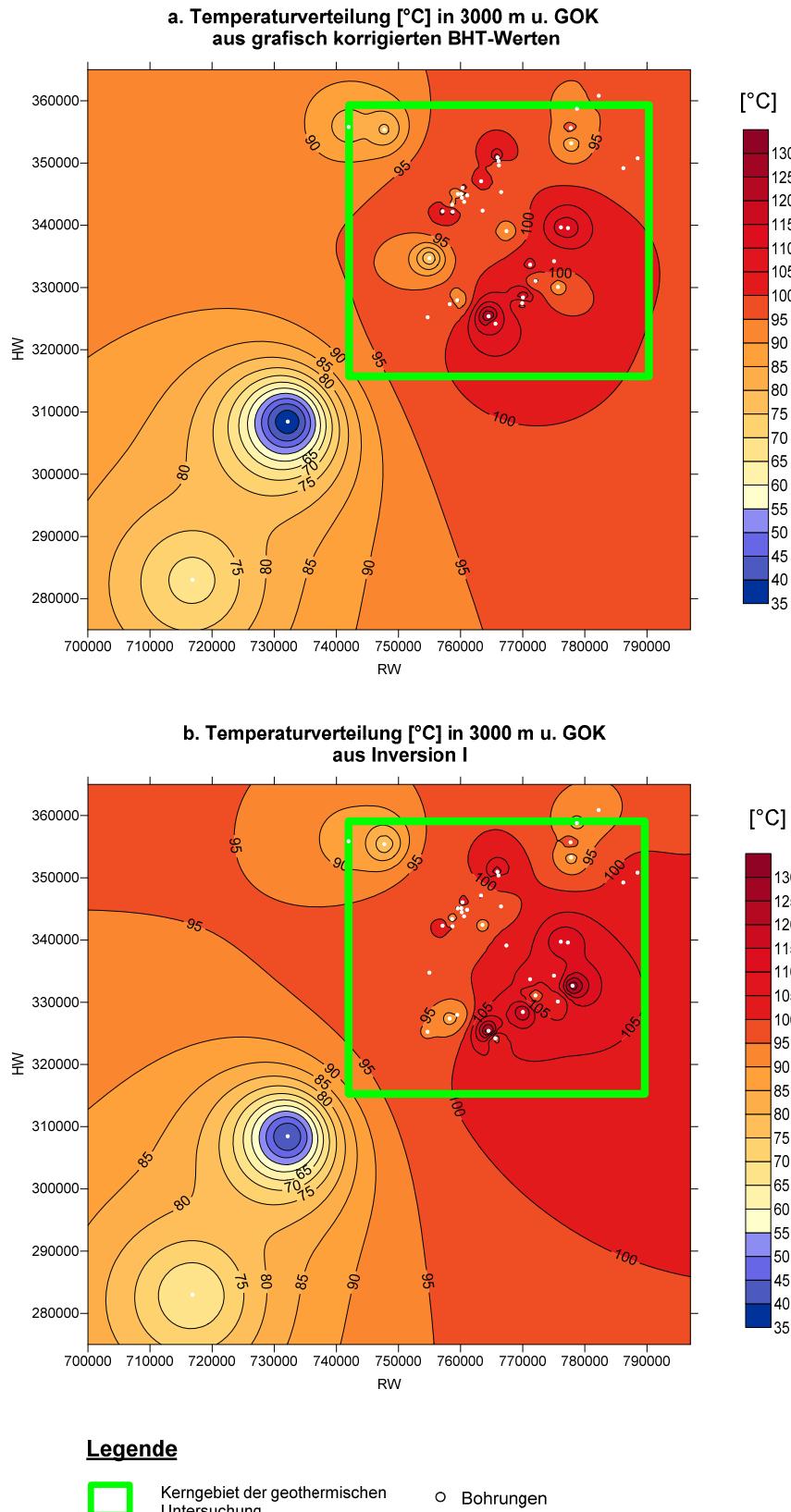
Eine Temperaturzunahme von Westen nach Osten bzw. SW nach NO ist zwar auf der Temperaturkarte I und II (Abbildung 7.9 und Abbildung 7.11) in beiden Tiefen durch eine einzige Bohrung mit niedriger Temperatur (< 40 °C) angedeutet, jedoch ist dieser Wert extrapoliert worden. Die Endteufe dieser Bohrung beträgt ca. 2500 m. Die Temperaturenkarten III und IV haben ihr Minimum bei 60 °C (3000 m) und 90 °C (3500 m). Außerdem sind außerhalb des Kerngebietes nur selten Daten bei diesen beiden Verfahren vorhanden.

Die Darstellungen aus den grafisch korrigierten BHT-Werten haben in beiden Tiefen ihre höchsten Werte im Süden des Kerngebietes. Die auftretenden Maximalwerte liegen bei 130 und 145 °C (Abbildung 7.9 a. und Abbildung 7.11 a.). Die warmen Bereiche sind sich ähnlich und deutlich hervorgehoben. Die Darstellungen, die sich aus der INVERSION I ergeben, haben ihre positiven thermischen Anomalien ebenfalls im Süden und zusätzlich im Südwesten des Kerngebietes (Abbildung 7.9 b. und Abbildung 7.11 b.). Die maximalen Temperaturen betragen auch hier wieder 130 und 145 °C. Die wärmeren Bereiche sind wie schon in den grafisch korrigierten Karten (Karten I) deutlich

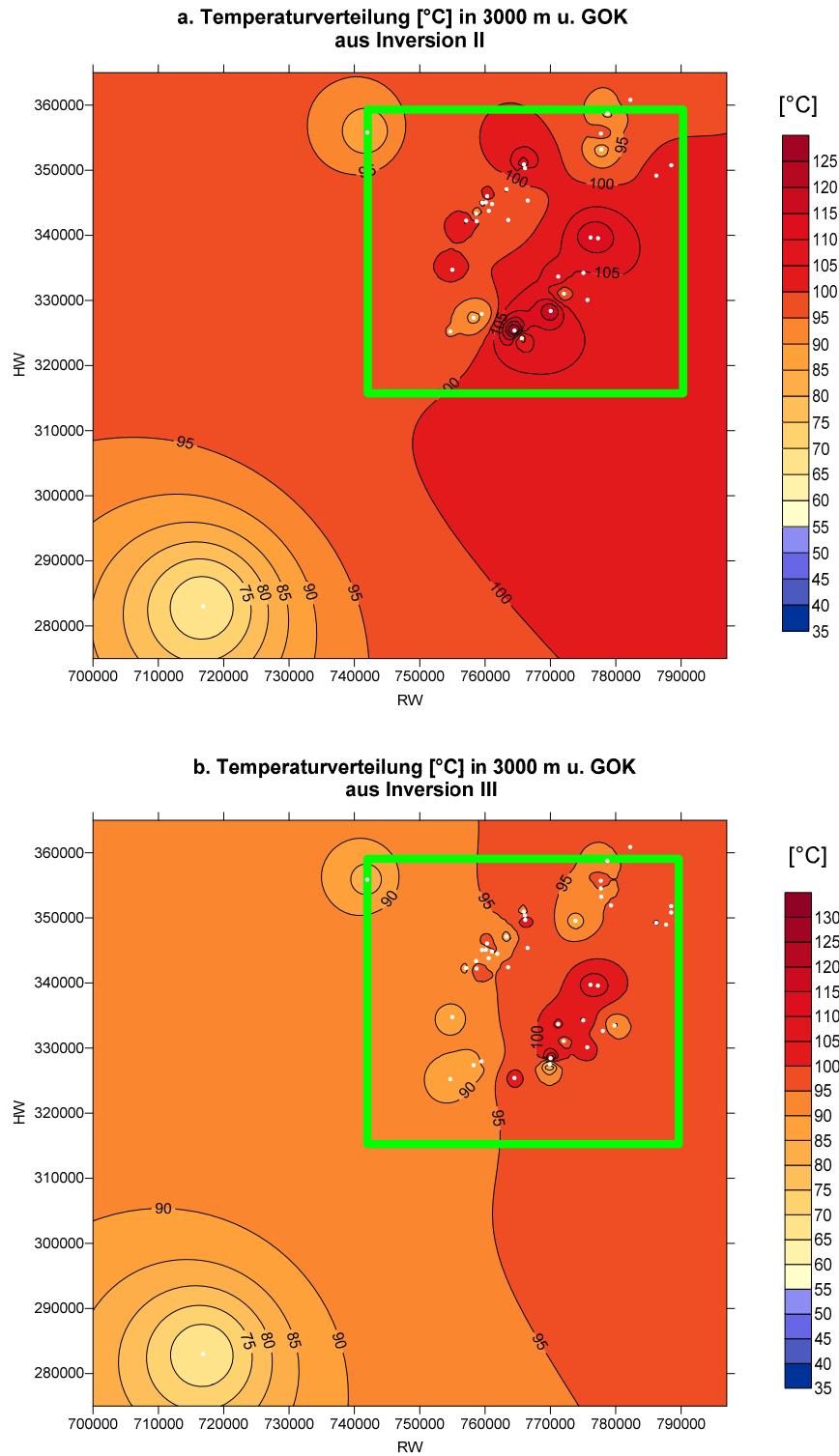
hervorgehoben, jedoch sind weniger lokale Anomalien vorhanden. In 3000 m u. GOK sind die Temperaturen aus der INVERSION II – Karte III (Abbildung 7.10 a.) – ähnlich hoch wie bei der INVERSION I und der grafischen Korrektur (ca. 125 °C). Im Kerngebiet unterscheidet sich die Temperaturverteilung der Karte III kaum von Karte II. Der einzige Unterschied besteht darin, dass die Temperaturverteilung aufgrund des Verfahrens gleichmäßiger wird. In 3500 m u. GOK befindet sich der höchste auftretende Wert ebenfalls im Süden des Kerngebietes der Karte III (Abbildung 7.12 a.). Die Temperatur beträgt etwa 145 °C. Wie zuvor unterscheidet sich die Temperaturverteilung im Kerngebiet kaum von den anderen beiden Verfahren.

In den Temperaturkarten IV sind kaum lokale Anomalien vorhanden. Die Temperaturverteilung ist relativ gleichmäßig im Vergleich zu den anderen Verfahren, wobei das allgemeine Temperaturniveau etwas niedriger ist. In 3000 m Tiefe hat die höchste Temperatur einen Wert von 120 °C. In 3500 m Tiefe liegt der maximale Wert bei 125 °C. Der Unterschied zu den vorherigen Verfahren ist in dieser Tiefe am deutlichsten zu sehen (ca. 20°C). Der Grund liegt in der 1BHT-Korrektur, die in INVERSION III mitberücksichtigt wird. Es stehen nämlich pro Bohrung mehr Temperaturwerte zur Verfügung als in den übrigen Karten. Diese Temperaturen sind jedoch stets niedriger als bei der grafischen und numerischen Korrektur. Die INVERSION III führte deshalb im Vergleich zu der INVERSION I und II fast jedes Mal zu niedrigeren Werten.

Es kann festgehalten werden, dass der regionale Trend in beiden Tiefen nur teilweise und aufgrund der Extrapolation der Bohrlochlänge um 20 % zu sehen ist. Die Temperaturverteilungen sind weitaus gleichmäßiger als in den vorherigen Darstellungen, wobei die Anzahl der Bohrungen sich nur um einen kleinen Betrag verringert hat. Im Vergleich zur Karte in 1000 m u. GOK hat sich jedoch die Anzahl in etwa halbiert. Eine Interpretation der Temperaturkarten ist deshalb nur noch im Kerngebiet möglich bzw. sinnvoll.



**Abbildung 7.9 Temperaturkarten für 3000 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren:
a. grafisch korrigierten BHT- und DST-Werten und b. Inversion I**



Legende

- Kerngebiet der geothermischen Untersuchung
- Bohrungen

Abbildung 7.10 Temperaturkarten für 3000 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren: a. Inversion II und b. Inversion III

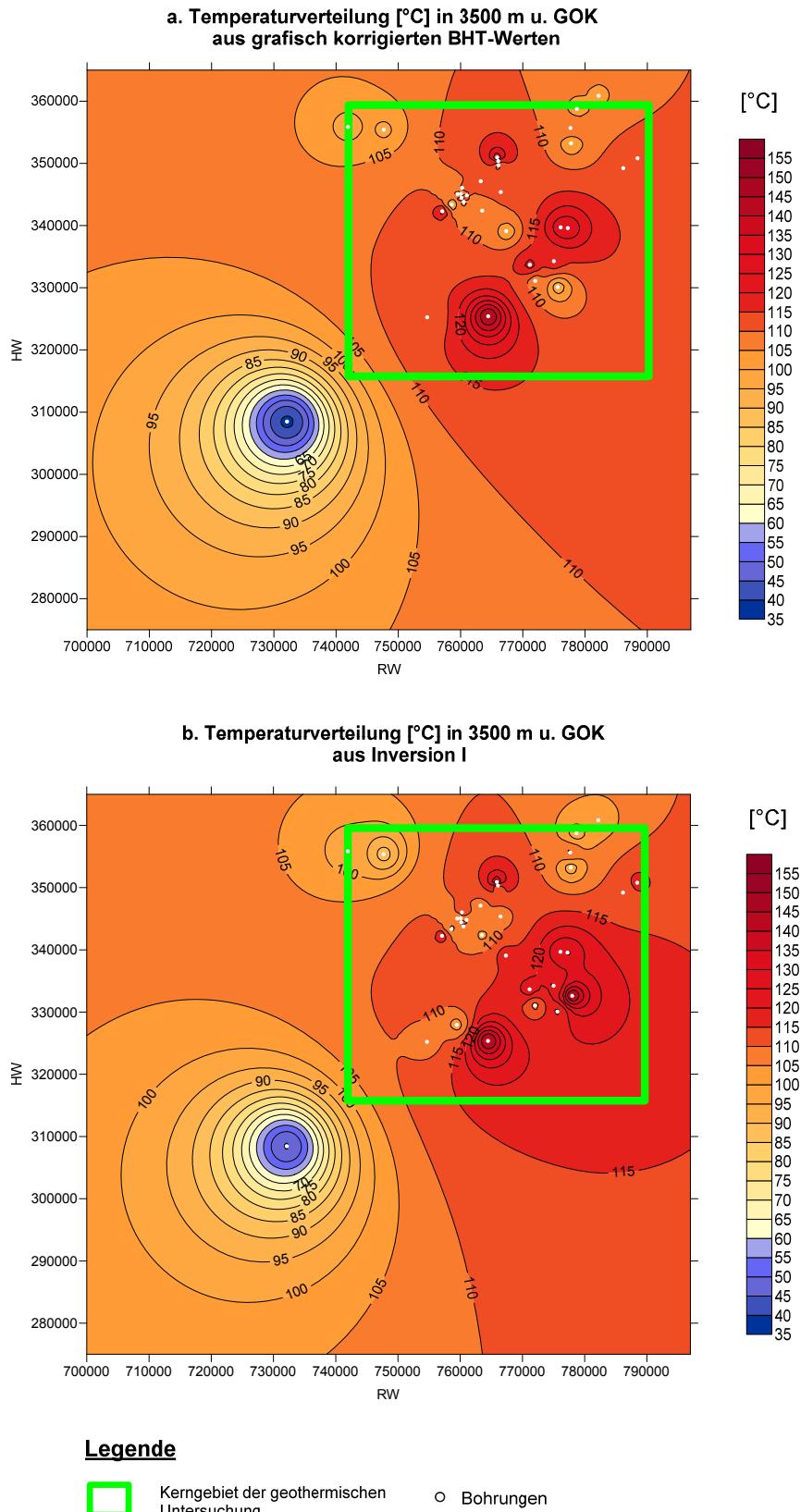


Abbildung 7.11 Temperaturkarten für 3500 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren: a. grafisch korrigierten BHT- und DST-Werten und b. Inversion I

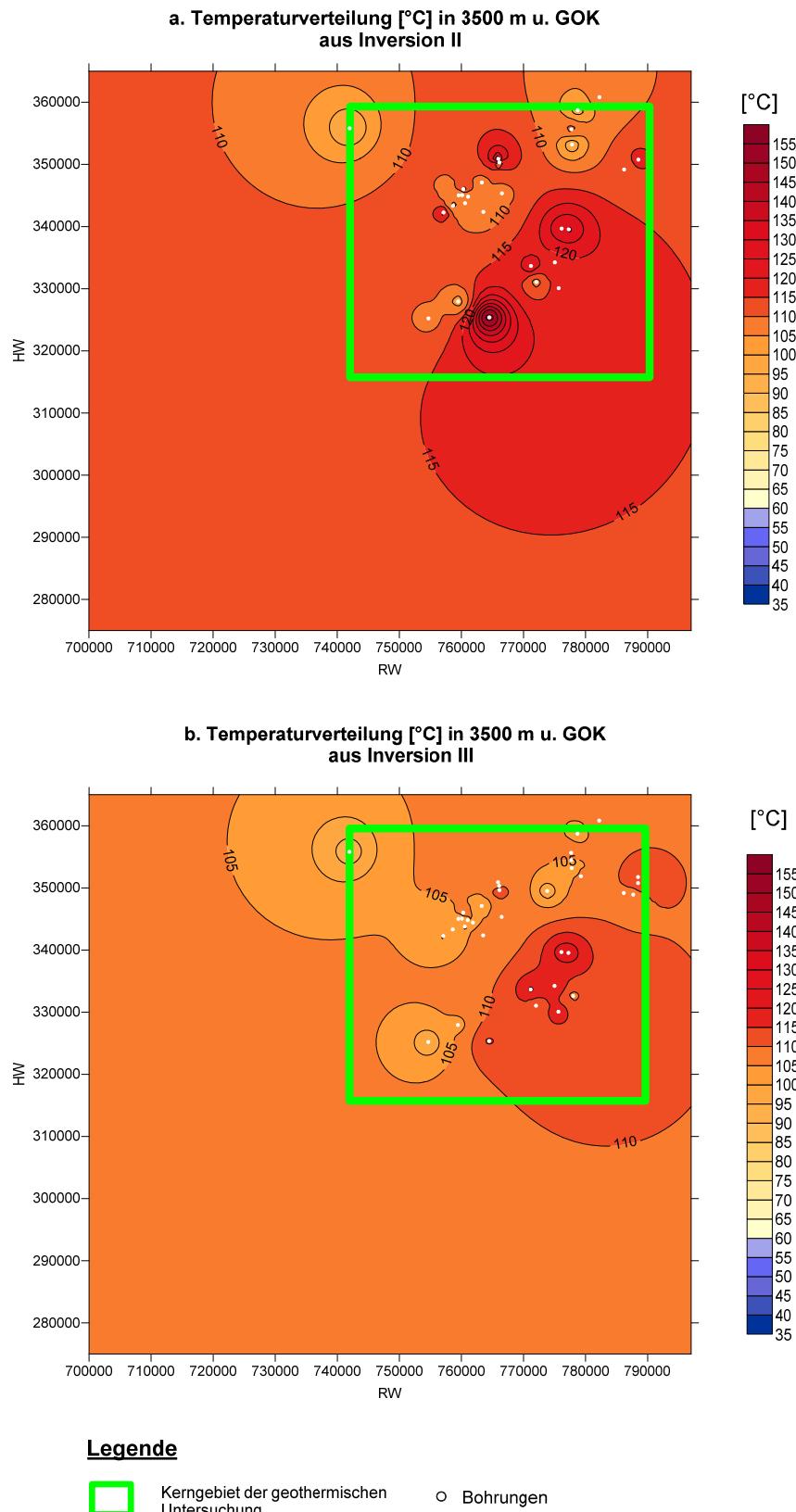


Abbildung 7.12 Temperaturkarten für 3500 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren: a. Inversion II und b. Inversion III

7.3.2 4000 m u. GOK

Für die Temperaturkarten in 4000 m u. GOK stehen 19 Werte aus der grafischen Korrektur, 19 aus der INVERSION I, 16 aus der INVERSION II und 23 aus der INVERSION III zur Verfügung. Im Vergleich zur Tiefe von 3000 m hat sich die Anzahl der vorhandenen Daten in etwa halbiert. Die Temperaturen liegen im Kerngebiet durchschnittlich zwischen 115 und 125 °C. Außerhalb des Kerngebietes stehen keine Informationen zur Verfügung, sodass keine Abschätzung der Temperaturen in diesem Gebiet gemacht werden kann.

Der zuvor beobachtete regionale Trend ist im Vergleich zu den vorherigen Temperaturverteilungen nicht mehr erkennbar. Die niedrige Temperatur in der Bohrung im Südwesten des Untersuchungsgebiets (Abbildung 7.13 a.) wurde im Laufe eines DS-Tests bestimmt, sodass angenommen werden kann, dass der Wert von 40 °C der Formationstemperatur entspricht. Dies ist auch der Grund warum keine Temperaturwerte aus dieser Bohrung für die Karten aus der INVERSION II und III vorhanden sind (Abbildung 7.14).

Im Kerngebiet herrschen überall Temperaturen über 100 °C. Der höchste Temperaturwert ergibt sich aus der INVERSION I und befindet sich im Südosten des Kerngebiets (Abbildung 7.13 b). Im Kerngebiet sind in dieser Tiefe trotz der vorhandenen Bohrungen nur wenige lokale Anomalien vorhanden, wodurch die Temperaturen sehr gleichmäßig verteilt sind.

Es können für diesen Tiefenabschnitt keine gesicherten Aussagen über die Temperaturverteilung gemacht werden. Eine Interpretation ist somit nur schwer bzw. kaum möglich und wenn überhaupt ist diese mit größeren Unsicherheiten als in den seichteren Tiefenabschnitten verbunden.

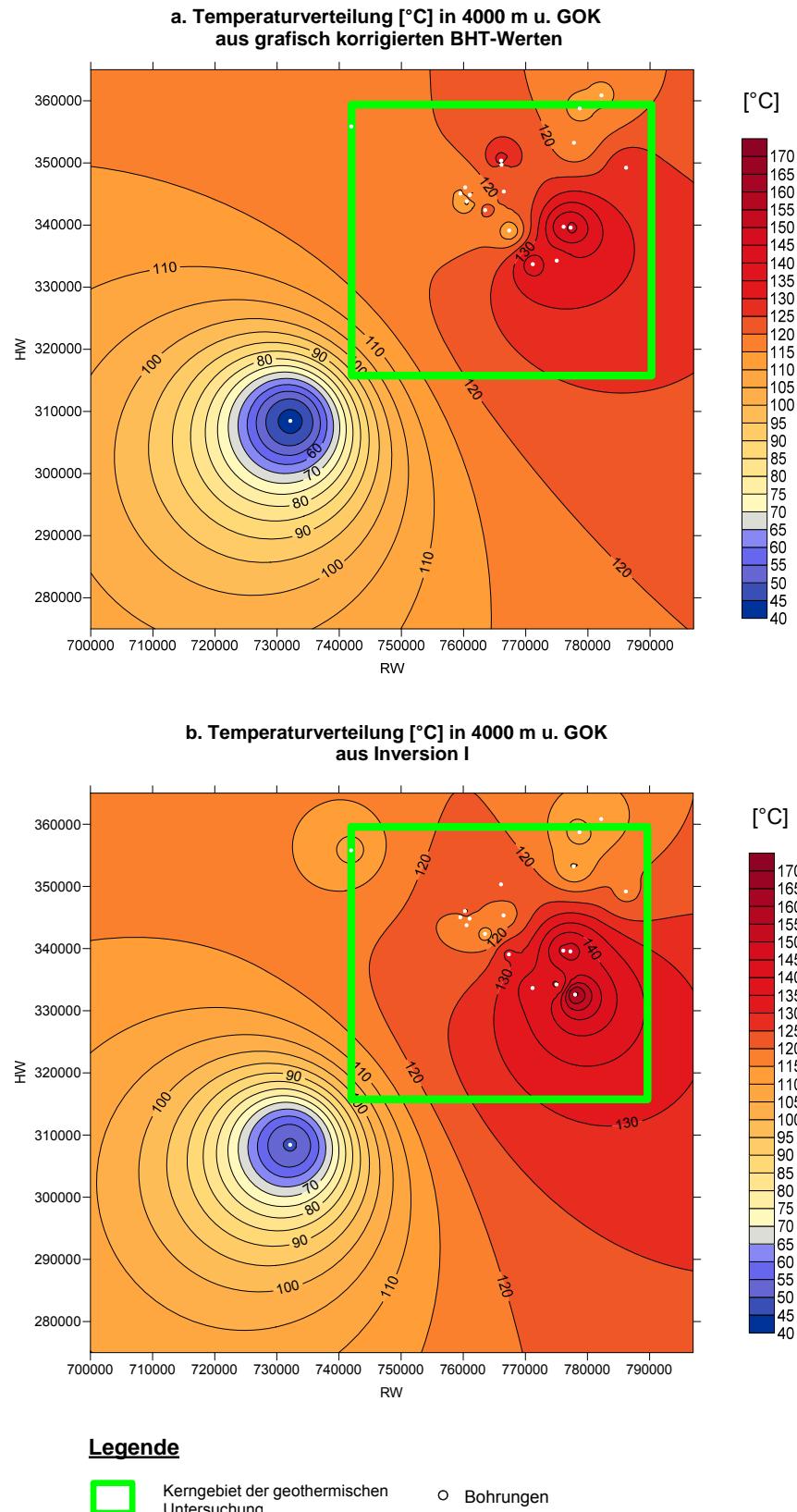


Abbildung 7.13 Temperaturkarten für 4000 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren: a. grafisch korrigierten BHT- und DST-Werten und b. Inversion I

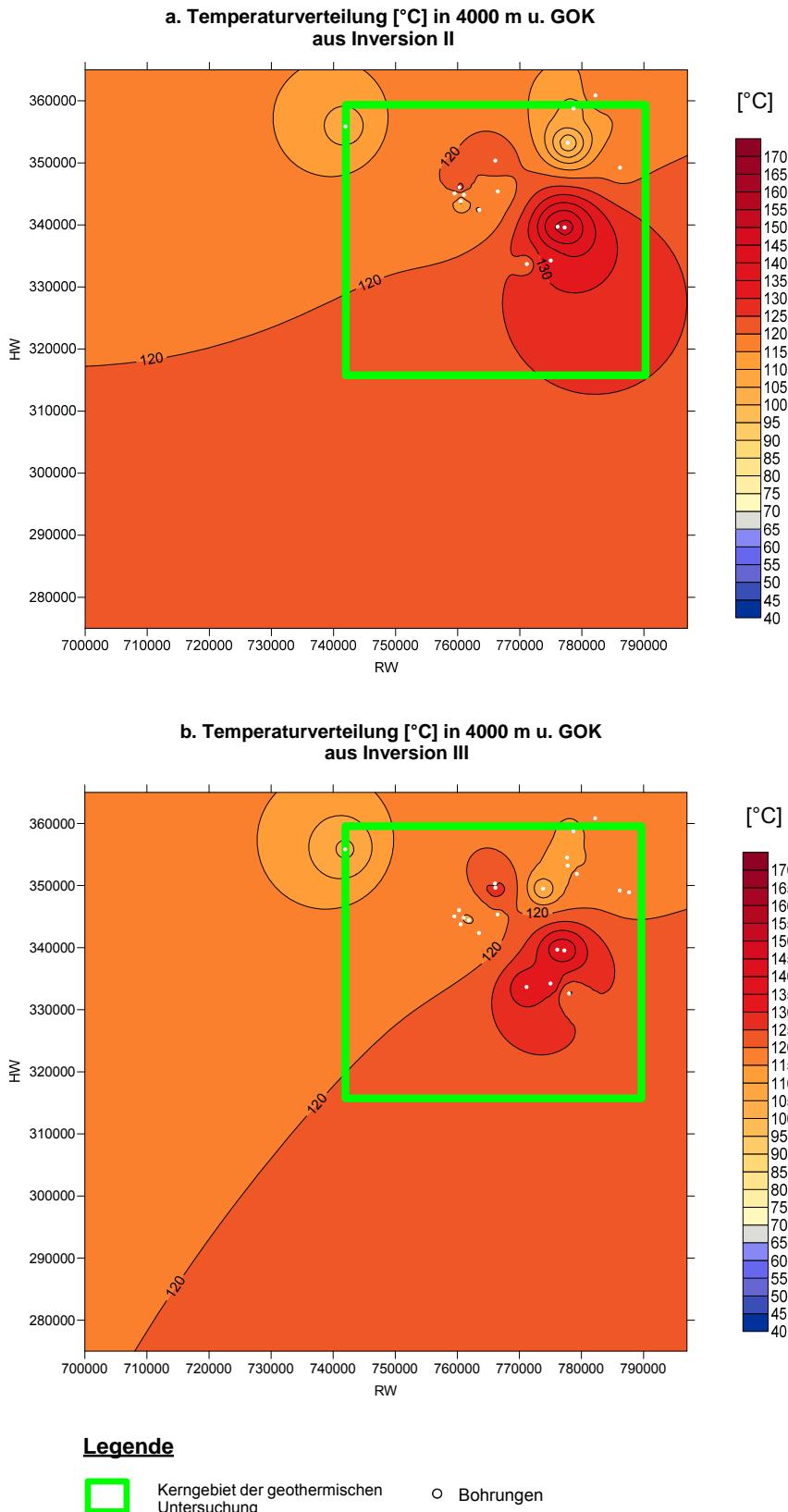


Abbildung 7.14 Temperaturkarten für 4000 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren: a. Inversion II und b. Inversion III

8 Interpretation und Schlussfolgerungen

8.1 Interpretation der Temperaturverhältnisse bis in 2500 m

Tiefe

Die geologischen und hydrologischen Informationen aus den Bohrungen werden mit den im dritten Arbeitsschritt prozessierten Daten und den daraus resultierenden Temperaturkarten in diesem Unterkapitel für die Interpretation des geothermischen Regimes zusammengeführt.

Bevor die Interpretation der Ergebnisse erfolgen kann, muss aus mehreren Gründen der Tiefenbereich eingeschränkt werden. Des Weiteren sollte aufgrund des Vergleichs der Korrekturverfahren jenes ausgewählt werden, das die Temperaturverhältnisse im Untergrund am repräsentativsten bzw. realistischsten wiedergibt.

Die Interpretation der Temperaturkarten erfolgt bis in eine Tiefe von 2500 m u. GOK. Die Einschränkung auf diesen Tiefenbereich ist aufgrund mangelnder thermischer Informationen in größerer Tiefe vor allem außerhalb des Kerngebietes nötig (siehe Abbildung 7.9 bis Abbildung 7.14), wobei der Großteil der vorhandenen Temperaturwerte linear extrapoliert worden ist. Die Bohrungen, die für die Interpretation zur Verfügung stehen, durchteufen in einer Tiefe von 2500 m zu 70 % das Neogen und zu 30 % die kalkalpine Einheit. Im Neogen ist, wie schon im Kapitel 2.4 erwähnt, das Aderklaer Konglomerat für die thermische Nutzung von Interesse, wobei dies auf der Tiefscholle des Wiener Beckens aufgrund der großen Mächtigkeiten des Speichergesteins vorteilhafter als auf der Hochscholle (einige Zehnermeter) wäre. In den kalkalpinen Einheiten steckt laut Walker-Hertkorn (2000) ein hohes Potenzial an geothermischer Energie. Da jedoch für die Diplomarbeit kaum tiefe Bohrungen (zwischen 3000 und 6000 m) hinzugezogen wurden, ist in dieser Hinsicht eine Interpretation nicht möglich.

Die zweite Einschränkung bezieht sich auf das Korrekturverfahren, das die Temperaturverhältnisse im Untergrund am Besten darstellt. Die INVERSION III entfällt, weil erstens außerhalb des Kerngebietes etwas weniger Informationen im Vergleich zu den anderen Verfahren vorhanden sind und zweitens die 1 BHT-Korrektur bei dieser Inversion einen großen Einfluss auf das Ergebnis ausübt. Die

INVERSION II zeigt ebenfalls Schwachpunkte, die zum einen auf die geringere Anzahl von Bohrungen (nicht nur außerhalb des Kerngebietes) und zum anderen auf die äußerst geringen Unterschiede der Temperaturwerte (siehe Abbildung 8.1; Zehntel-Bereich) im Vergleich zur INVERSION I zurückzuführen sind. Die Temperaturkarten aus den grafisch korrigierten BHT- und DST-Werten (Temperaturkarte I) beinhalten zwar mehr thermische Informationen, jedoch führt dies zu vielen lokalen Anomalien, sogenannten „bull's eyes“, in den Karten. Diese Anomalien werden infolge der Interpolationsmethode „Inverse Distance to A Power“ generiert. Die Korrekturverfahren nach Horner (1951) und Lachenbruch & Brewer (1959) sind außerdem Verfahren, die auf empirischen Ermittlungen basieren und wie im Kapitel 5.3.1 erwähnt von der Genauigkeit der Stillstandzeit und Zirkulationsdauer abhängig.

Abweichung des numerischen Verfahrens von grafischen Korrekturverfahren

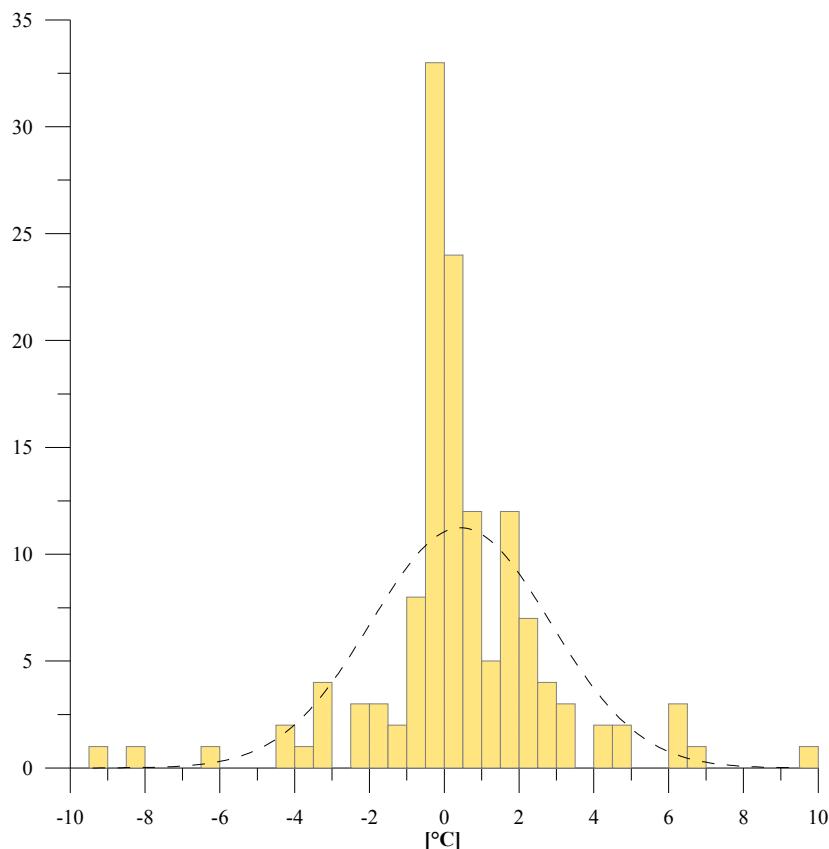


Abbildung 8.1 Abweichung des numerischen Korrekturverfahrens nach Leblanc et al. (1982) vom Mittelwert der grafischen Verfahren; strichlierte Kurve: normale Gaußverteilung

Aus den vorangegangenen Überlegungen kommt man zu dem Schluss, dass INVERSION I für die Interpretation der Temperaturverhältnisse im Untersuchungsgebiet herangezogen werden sollte. Im Gegensatz zur Temperaturkarte I (grafische Korrektur und DST-Werte) sind bei der INVERSION I ebenfalls noch einige lokale Anomalien vorhanden, diese werden aber in weiterer Folge unter Verwendung eines Mittelwertfilters – Radius von 7 km - geglättet. In Abbildung 8.2 ist ein Beispiel in 1000 m u. GOK für die Mittelwertfilterung dargestellt. Es ist klar ersichtlich, dass die vielen lokalen Anomalien mit Hilfe der Filterung überwiegend geglättet wurden. Der Radius entspricht dem Fenster des Mittelwertfilters und ist anhand mehrerer Versuche mit 7 km festgelegt worden.

In Abbildung 8.3 und 8.4 ist der Temperaturverlauf mit der Tiefe, beginnend bei 1000 m u. GOK bis in 2500 m Tiefe dargestellt. Zusätzlich sind DST-Werte abgebildet um die Plausibilität der Temperaturkarte II zu überprüfen. In 1000 m (Abbildung 8.3 oben) ist eine Temperaturnessung aus einem Drill-Stem-Test, welche 47 °C beträgt, vorhanden. Die Differenz zwischen diesem Wert und der Temperatur der INVERSION I beträgt weniger als 1 °C (< 3 %). Die geringe Abweichung spricht für eine gute Funktionsweise der INVERSION I.

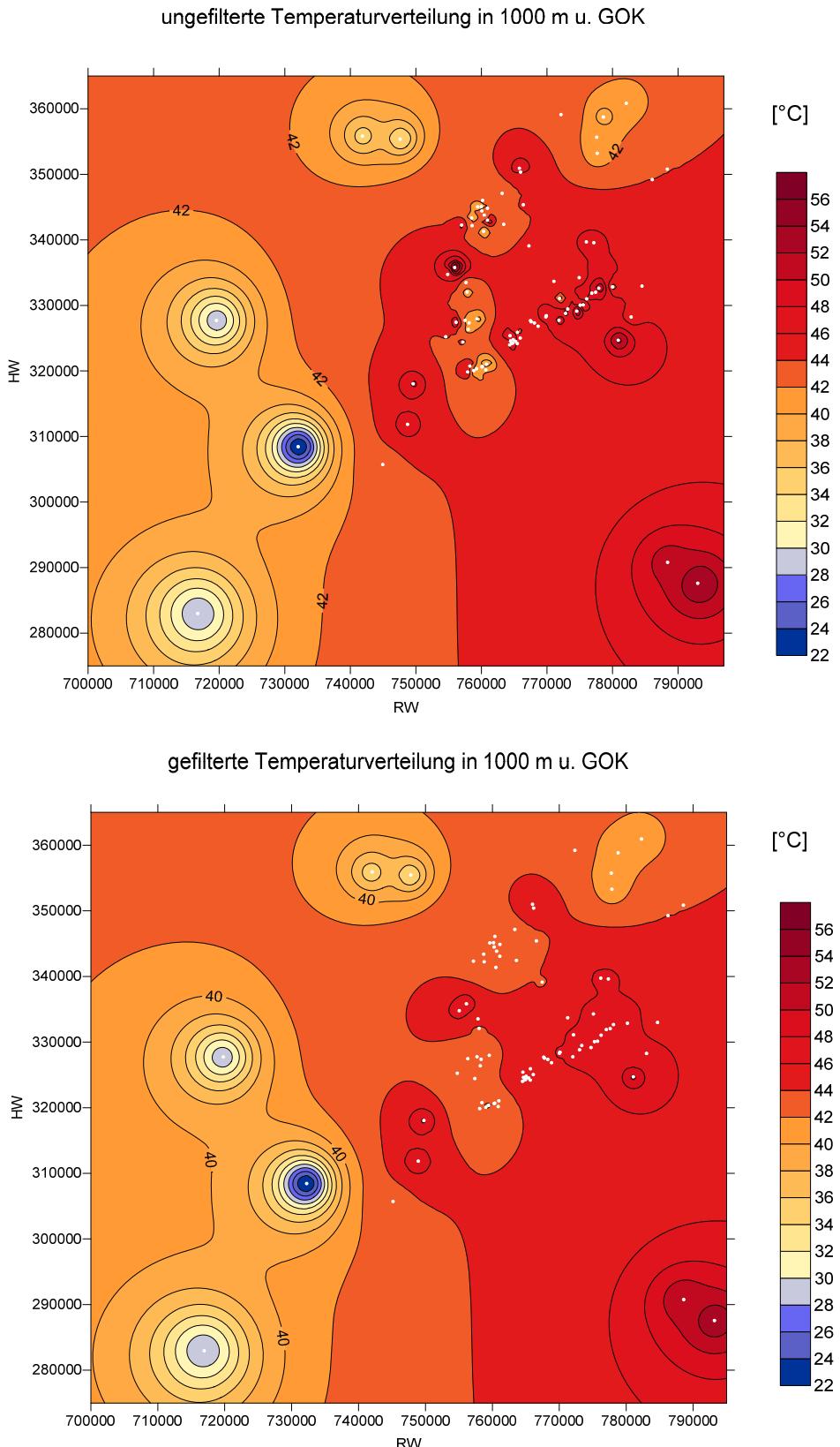


Abbildung 8.2 Vergleich der ungefilterten Temperaturkarte (oben) in 1000 m u. GOK mit der gefilterten Temperaturkarte (unten) in 1000 m u. GOK

gefilterte Temperaturverteilung aus Inversion I in 1000 m und 1500 m u. GOK

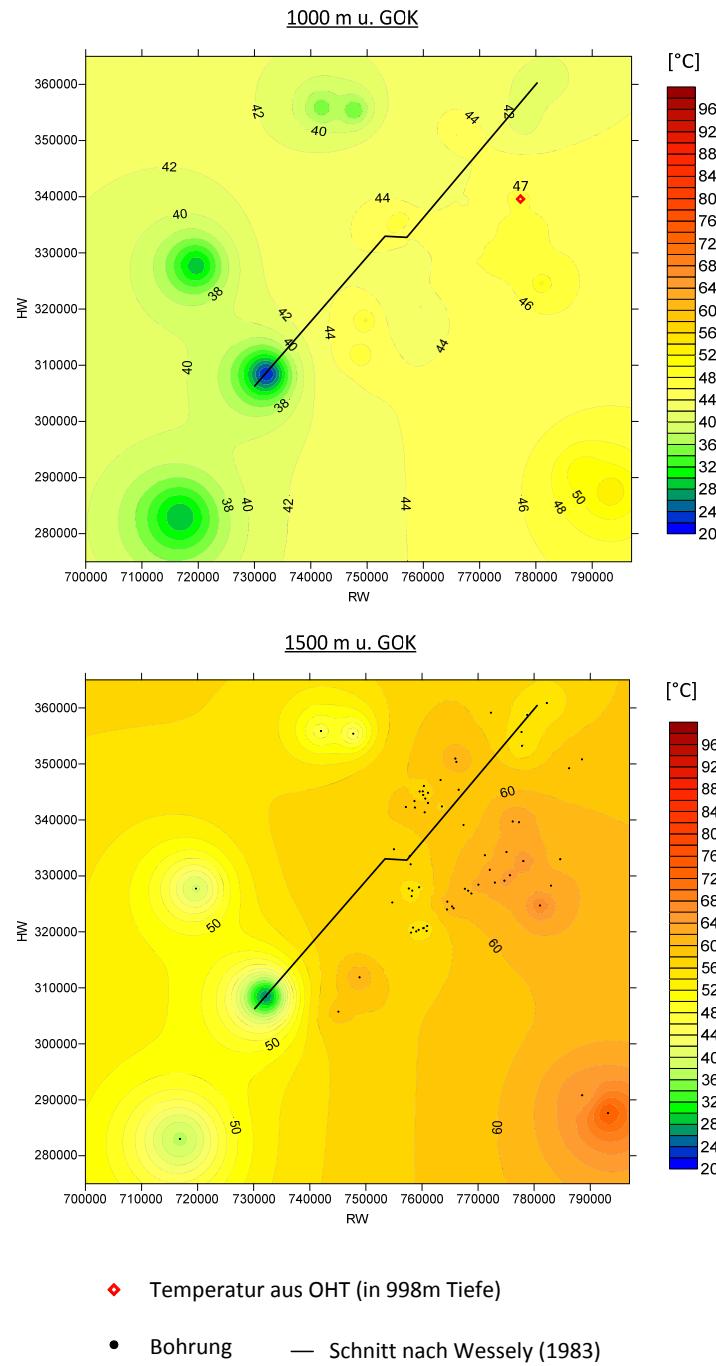


Abbildung 8.3 Temperaturverlauf in 1000 m und 1500 m u. GOK; bei 1000 m ein DST-Wert (47°C); geologischer Schnitt nach Wessely (1983) ist in Abbildung 7.20 dargestellt

gefilterte Temperaturverteilung aus Inversion I in 2000 m und 2500 m u. GOK

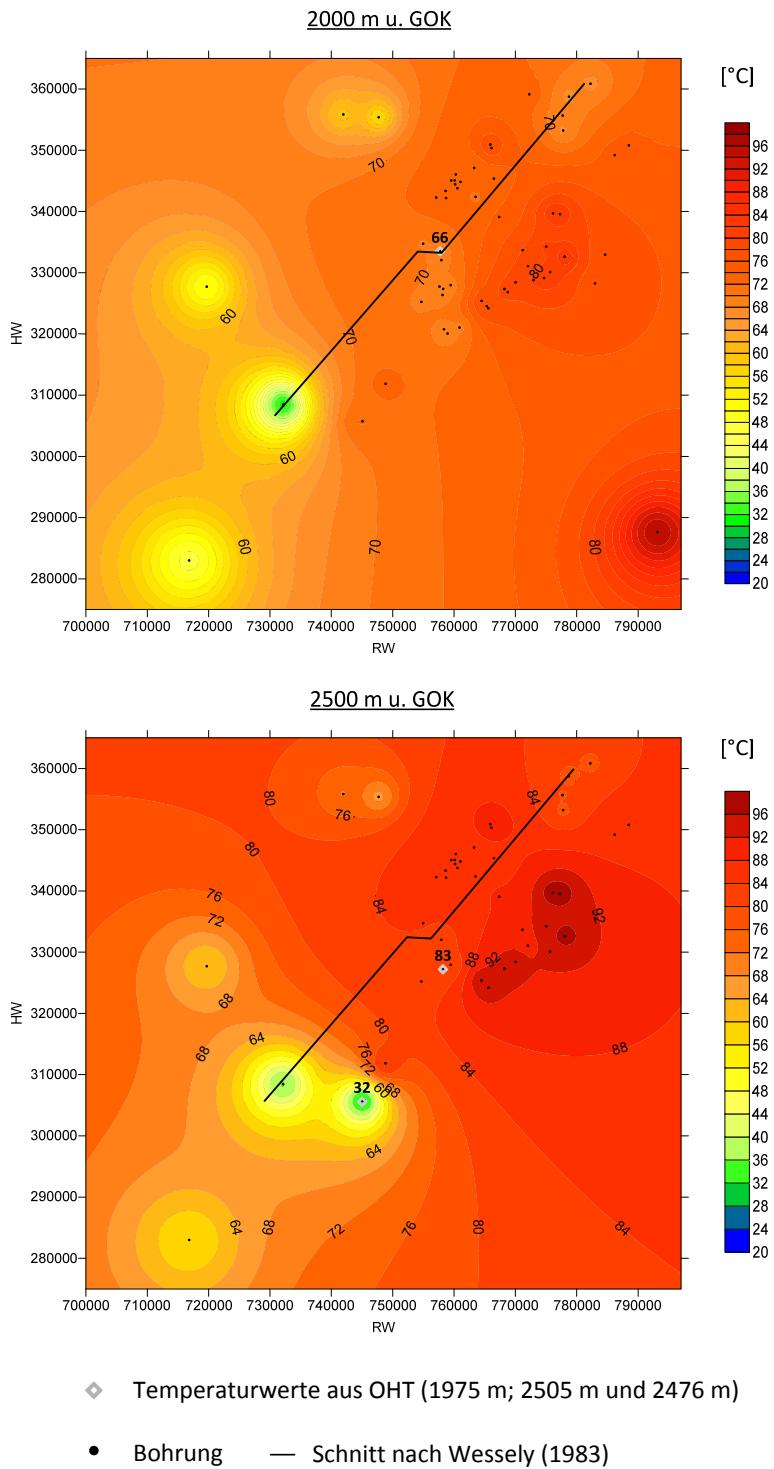


Abbildung 8.4 Temperaturverlauf in 2000 m und 2500 m u. GOK; graue Symbole: Temperatur (angegeben) aus DST in dieser Tiefe; geologischer Schnitt nach Wessely (1983) ist in Abbildung 7.20 dargestellt

In 1500 m u. GOK stehen leider keine DST-Werte für die Überprüfung der Temperaturkarte zur Verfügung. Der Temperaturwert in der 2000 m-Karte ist in einer Tiefe von 1975 m u. GOK gemessen worden und liegt um etwa 0.3 °C höher als der Wert aus der Inversion. In der 2500 m-Karte liegen zwei gemessene Temperaturwerte aus DS-Tests vor, wobei die ermittelten Temperaturen in diesem Fall niedriger liegen. In der Bohrung mit niedrigen Temperaturwerten beträgt die Abweichung ca. 2 °C, in der anderen Bohrung ist der Unterschied mit ca. 8 °C deutlich höher. Diese erheblichen Differenzen sind auf das Korrekturverfahren zurückzuführen, da in größeren Tiefen im Vergleich zu den DST-Werten niedrigere Werte ermittelt werden. Die guten Übereinstimmungen mit Ausnahme der 2500 m-Karte sprechen für das Inversionsverfahren, jedoch muss beachtet werden, dass es sich um punktuelle Übereinstimmungen handelt. Eine statistische Auswertung ist aufgrund der limitierten Anzahl an DST-Werten nicht möglich.

Die von Wessely (1983) beschriebene hydrologische Situation im südlichen Wiener Becken ist auf den Temperaturkarten (Abbildung 8.3 und 8.4) deutlich erkennbar. Im nordöstlichen Bereich der Karten herrschen gleichmäßige Temperaturverhältnisse vor. Dies ist auch aus den Temperaturprofilen der Bohrungen aus diesem Gebiet klar ersichtlich (Abbildung 8.5). Dem hydrostationären System östlich des Leopoldsdorfer Bruches sind nicht nur gleichförmige Temperaturverläufe sondern auch hohe Salinitäten zuzuschreiben, die mithilfe des Cl-Gehaltes aus den Formationstests belegt sind. Diese Verhältnisse gelten nicht nur im Neogen sondern auch im Beckenuntergrund des zentralen Wiener Beckens (Wessely, 1983).

Im kalkalpinen Untergrund der Hochscholle ist das hydrodynamische System, das durch niedrige Salinität und starke Anomalien des Temperaturgradienten gekennzeichnet ist, in den Temperaturkarten ebenfalls zu erkennen. Dieses System steht am Beckenrand mit dem östlichen Bereich der obertägigen Kalkalpen in Verbindung und ist durch die Bohrung Berndorf 1 belegt (Wessely, 1983). Der Temperaturverlauf in dieser Bohrung (Abbildung 8.6) und Formationstests deuten auf kalte Süßwasserführung hin. Die Bohrung befindet sich im südwestlichen Bereich der Temperaturkarten und ist im Vergleich zur Umgebung über die gesamte Bohrlochlänge wesentlich kühler.

Der Temperaturverlauf in den Karten (Abbildung 8.3 und 8.4) kann als ein Kaltstrom, der aus den Einzugsgebieten des kalkalpinen Untergrundes (siehe Kapitel 2.4) kommt und von der Oberfläche bis in große Tiefen eindringt (siehe Abbildung 8.6: Berndorf 1), interpretiert werden. Dieser Kaltstrom fließt unter das Wiener Becken – auch für diesen Fall kann die Bohrung Berndorf 1 mit einer Endteufe von über 6000 m und sehr niedrigen Temperaturwerten in diesen Tiefen herangezogen werden.

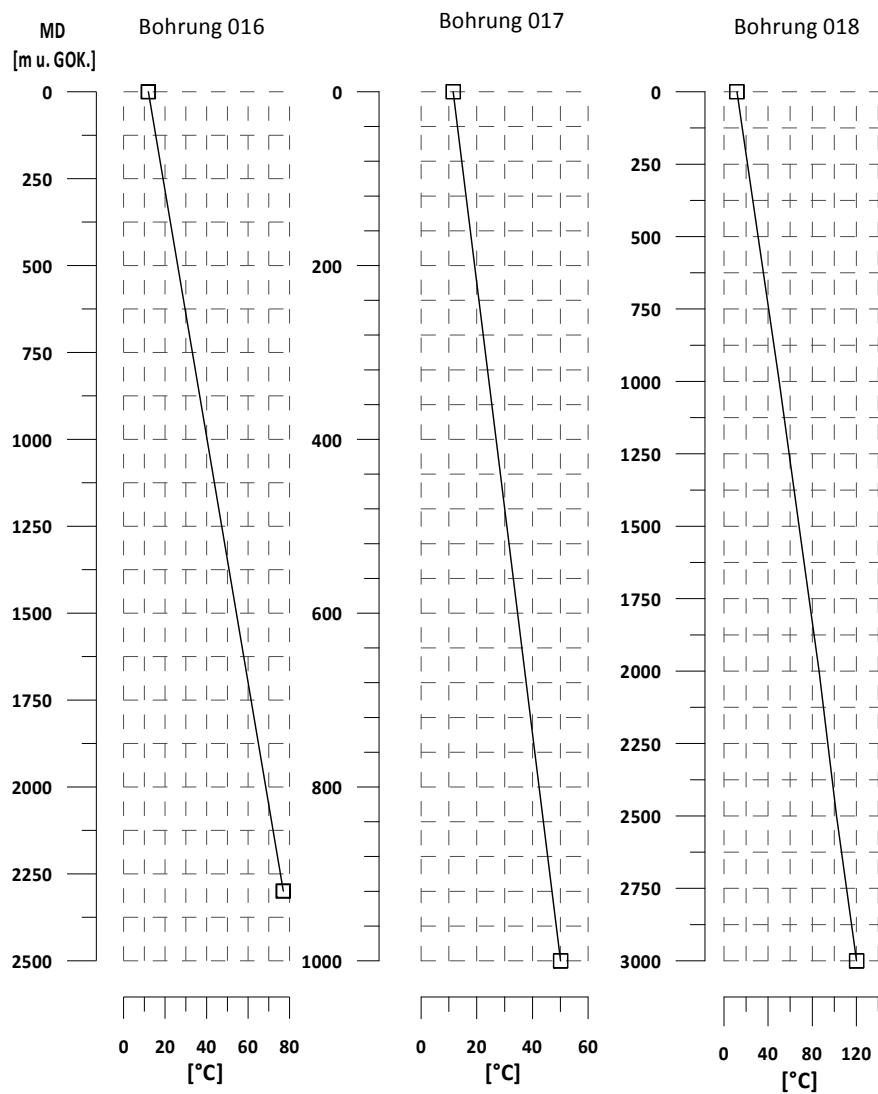


Abbildung 8.5 Temperaturprofile von Bohrungen aus dem nordöstlichen Untersuchungsgebiet

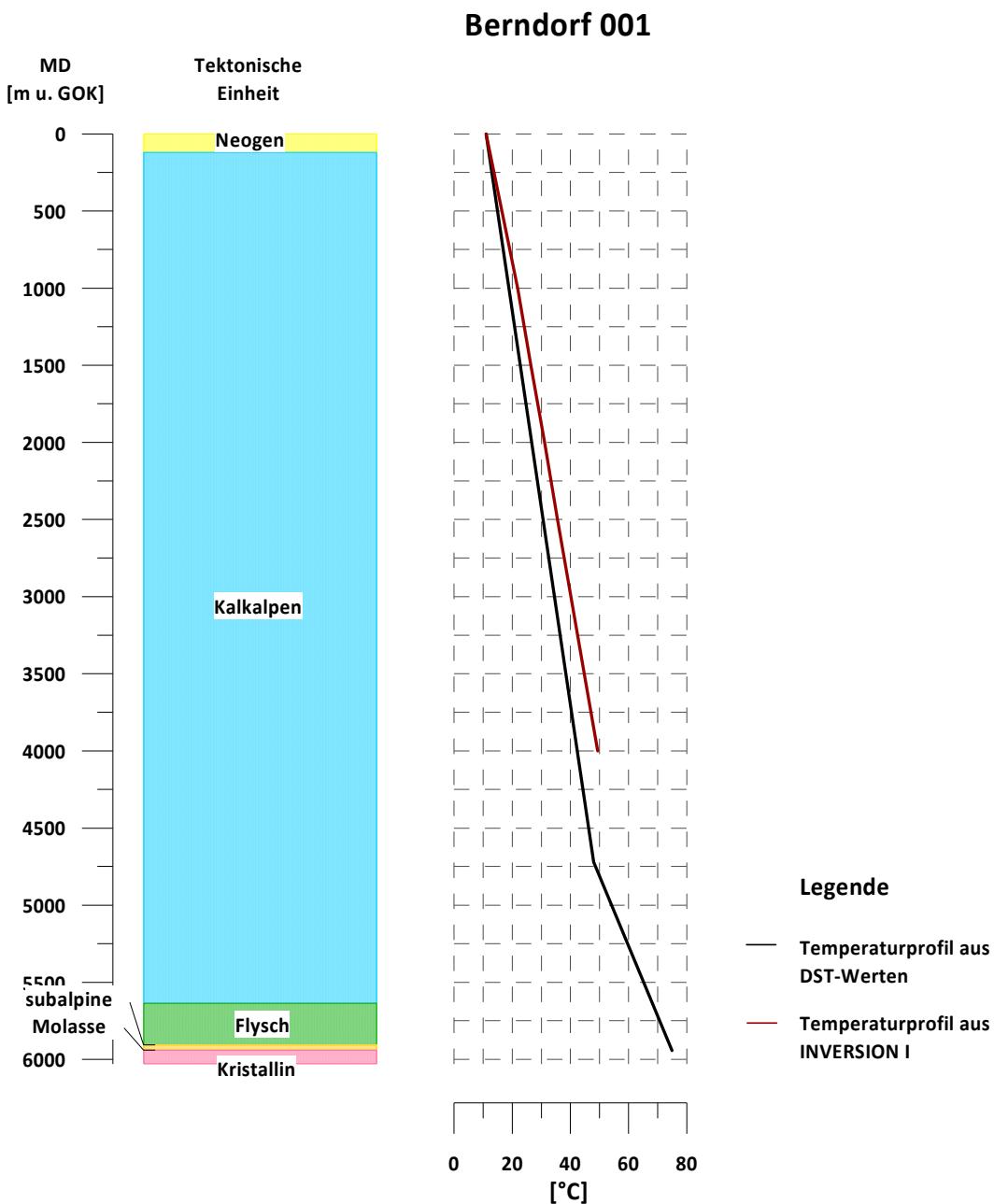


Abbildung 8.6 Temperatur-Tiefen Profil der Bohrung Berndorf 1

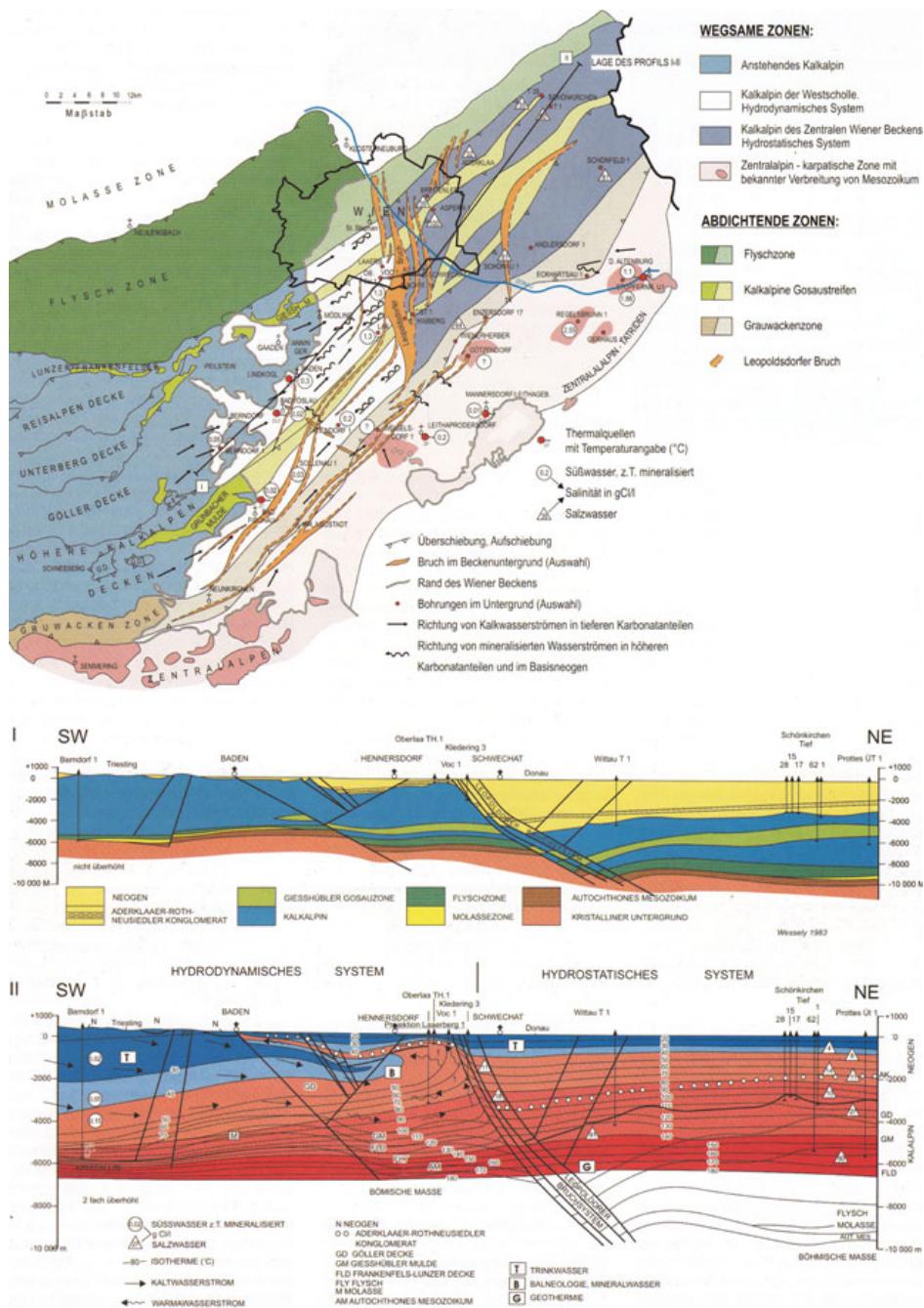


Abbildung 8.7 Hydrologische Systeme am Rand und im Untergrund des Wiener Beckens. In der unteren Hälfte: Schnitte Berndorf – Baden – Oberlaa – Schönkirchen: Schnitt I (oben): Geologie, Schnitt II (unten): Temperatur und Hydrodynamik am Beckenrand und im zentralen Wiener Becken. Nach Wessely (1983), entnommen aus Wessely (2006)

Die Wässer bewegen sich in nordöstlicher Richtung, da sie im Norden von der Flyschzone und der dichteren Nordzone (Frankenfels-Lunzer System) der Kalkalpen, und im Süden von der dichten Grauwackenzone begrenzt werden. Im

Beckenuntergrund werden die Wässer erwärmt und mineralisiert. Dies ist aus vielen hydraulischen Formationstests, die in den Bohrungen (z.B. Laaerberg 1, Laxenburg 2) durchgeführt wurden, und den Temperaturprofilen (siehe Anhang) klar ersichtlich. In den dargestellten Temperaturverhältnissen im Untergrund ist dies durch den regionalen Trend, der Zunahme der Temperaturen von Südwesten nach Nordosten, ebenfalls erkennbar. Am Leopoldsdorfer Bruchsystem steigt das Wasser westwärts auf, da der Bruch wie eine dichte Barriere wirkt. Einige Bohrungen, die direkt am Bruch liegen, führen heißes Wasser (Wessely, 1983). Die Temperaturwerte und die Salinität in diesen Bohrungen sind im Vergleich zu den im Südwesten gelegenen Bohrungen deutlich höher. Einige dieser Bohrungen sind im Anhang zu finden. Das Ziel dieser Wässer sind Hochzonen des Beckenuntergrundes (Oberlaaer und Laxenburger Hoch). Diese Bereiche sind oberhalb von dichtem Gestein bedeckt, sodass das Wasser zurück zum Beckenrand gedrängt wird (Wessely, 1983). Die Fließsysteme und die Temperaturverhältnisse von Südwesten nach Nordosten in Abbildung 8.7 (untere Hälfte der Darstellung) sind nach Wessely (1983) dargestellt. Der Schnitt in der unteren Hälfte stellt die Isothermen im Untergrund dar. Dieser Schnitt ist auch in den Temperatkarten (Abbildung 8.3 und 8.4), die im Rahmen der Diplomarbeit generiert wurden, zum Vergleich abgebildet.

Die Temperaturverteilungen in Abbildung 8.3 und 8.4 stimmen mit dem Schnitt nach Wessely (1983) relativ gut überein, wobei größere Abweichungen (ca. 10 °C) nur im Bereich des Leopoldsdorfer Bruches auftreten. Der Grund für diese großen Differenzen liegt darin, dass bei der Interpolation der Temperatkarten der Leopoldsdorfer Bruch nicht berücksichtigt worden ist.

In Abbildung 8.8 bis 8.11 sind die Temperaturverhältnisse in allen vier Tiefenabschnitten nochmals dargestellt. Zusätzlich sind die geologischen Verhältnisse und die Lage der verwendeten Bohrungen abgebildet.

Die Temperaturverhältnisse östlich des Leopoldsdorfer Bruches (siehe Abbildung 8.8 bis 8.11), respektive der Tiefscholle, liegen in allen Tiefenabschnitten deutlich höher als auf der Hochscholle des Wiener Beckens. Die relativ gleichförmigen Temperaturgradienten in den Bohrungen der Tiefscholle sind auf die geringe Hydrodynamik zurückzuführen. Es besteht sowohl im Neogen (Aderklaaer

Konglomerat) als auch im Beckenuntergrund (an den Beckenrändern) die Möglichkeit, dass sich Strömungsvorgänge ausbilden können. In den Zentralalpen und Tatriden können aufgrund der starken Klüftungen und Störungszonen ebenfalls Strömungsvorgänge auftreten. Ein solches Zirkulationssystem im zentralalpinen Untergrund ist im östlichen Beckenrand durch austretende Warmwasserquellen (Deutsch-Altenburg und Mannersdorf) erwiesen (Wessely, 2006). Dieses Gebiet liegt jedoch außerhalb des Untersuchungsgebiets, sodass keine Aussage zu diesem Zirkulationssystem gemacht werden kann. In den Abbildung 8.8 bis 8.11 ist im Nordosten des Kerngebiets ein Bereich mit niedrigeren Temperaturwerten zu sehen. Dies könnte auf ein weiteres Zirkulationssystem im Wiener Becken hindeuten.

Im Kerngebiet ist im Südosten von Wien eine positive thermische Anomalie (Bereich Oberlaa) in 1000 m u. GOK deutlich zu erkennen. In diesem Gebiet wird das Thermalwasser für balneologische Zwecke verwendet. Die positive Anomalie verschwindet jedoch in größerer Tiefe.

Im Nordwesten des Kerngebietes sind niedrigere Werte bis in 2500 m u. GOK abgebildet. Der Grund für diese Temperaturen ist noch ungeklärt. Im Südosten des Kerngebietes sind positive Anomalien thermische Anomalien in allen Tiefenabschnitten (siehe Abbildung 8.8 bis 8.11) zu erkennen.

Im Südosten des Untersuchungsgebiets (siehe Abbildung 8.8 bis 8.11) liegen Bohrungen mit höheren Temperaturen im Vergleich zum Kerngebiet, die nicht auf die Interpolationsmethode zurückzuführen sind, sondern aufgrund des thermischen Einflusses des Pannonischen Beckens.

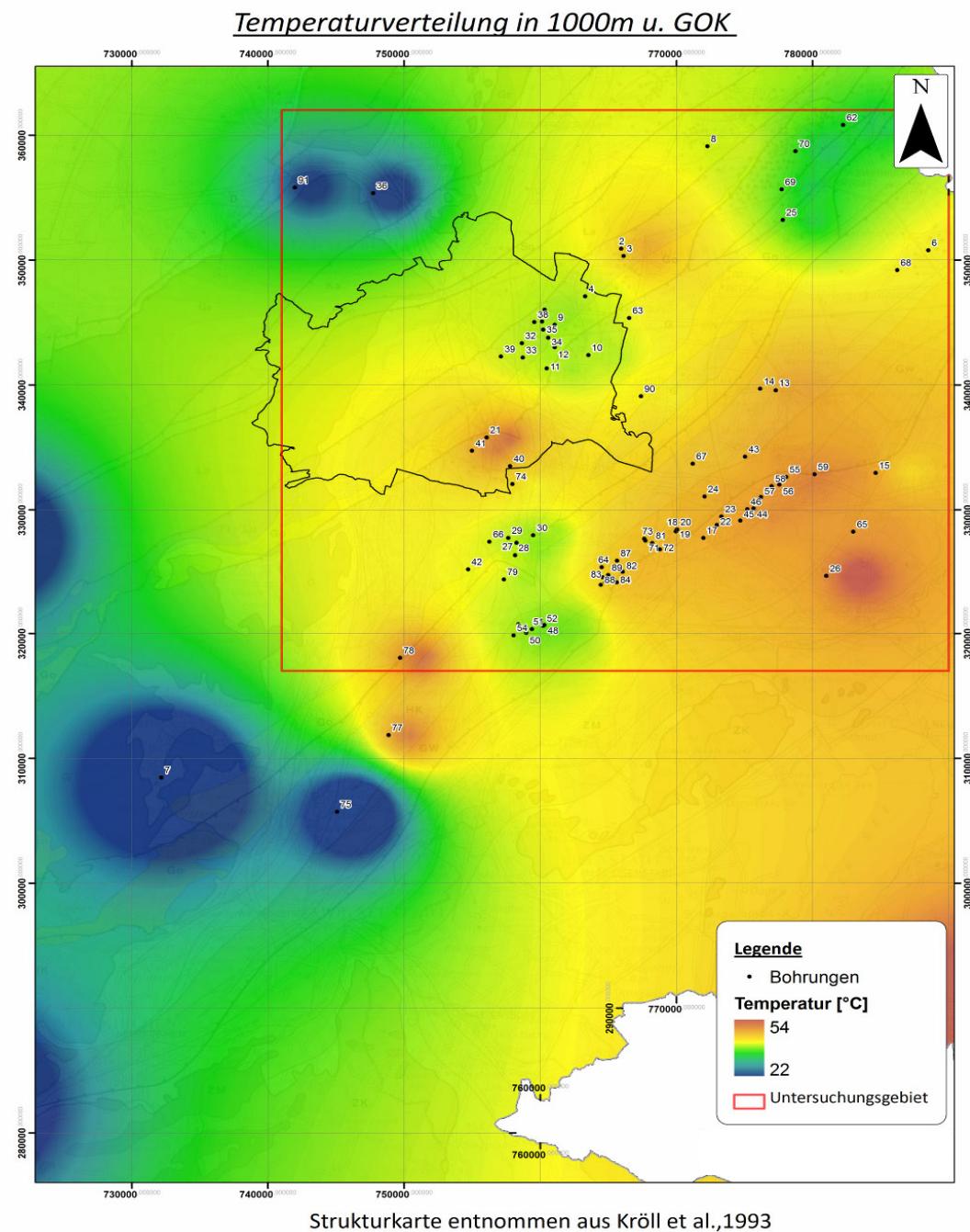


Abbildung 8.8 Temperaturverteilung in 1000 m u. GOK; Strukturkarte (Basis der tertiären Beckenfüllung) entnommen aus Kröll et al., 1993

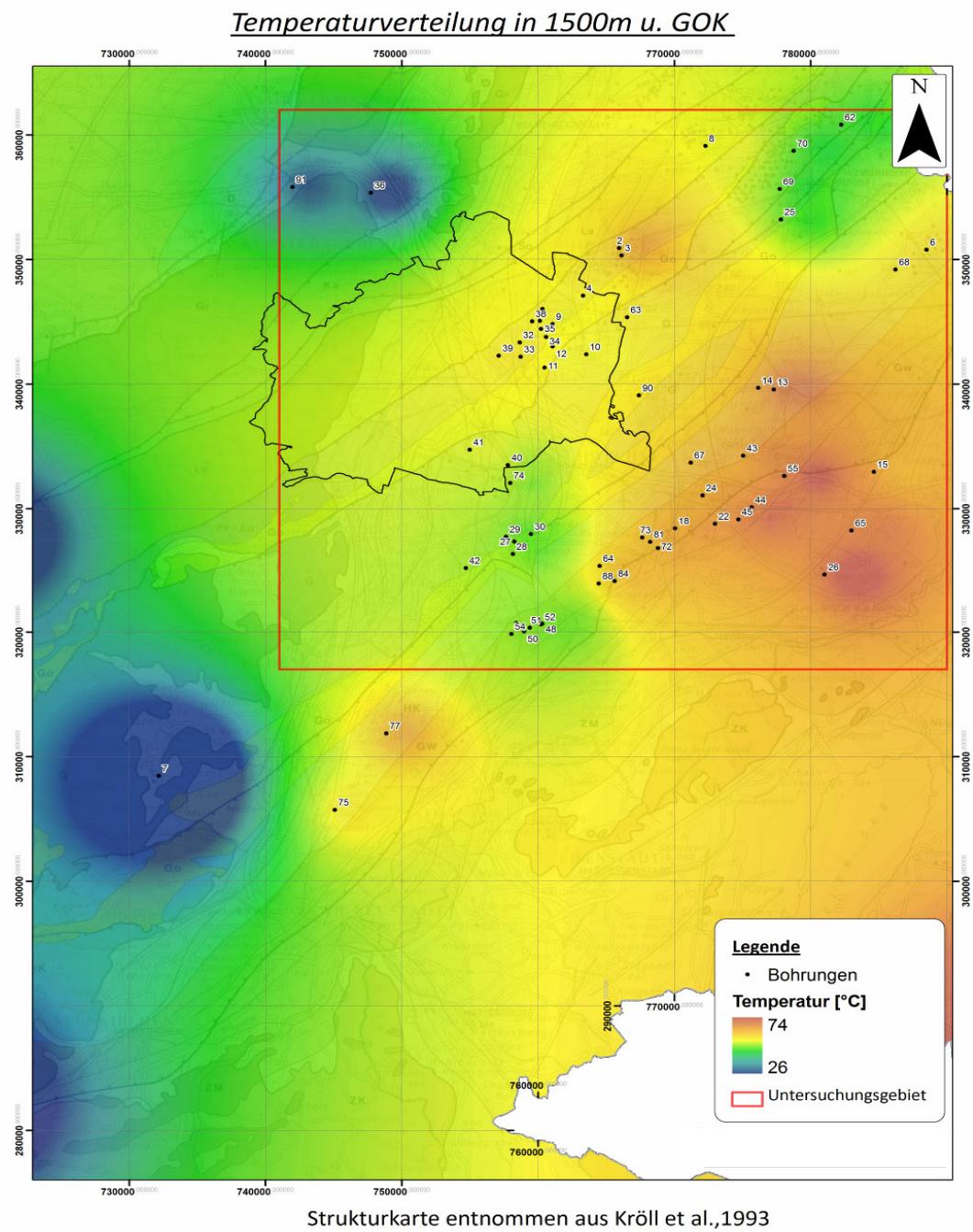


Abbildung 8.9 Temperaturverteilung in 1500 m u. GOK; Strukturkarte (Basis der tertiären Beckenfüllung) entnommen aus Kröll et al., 1993

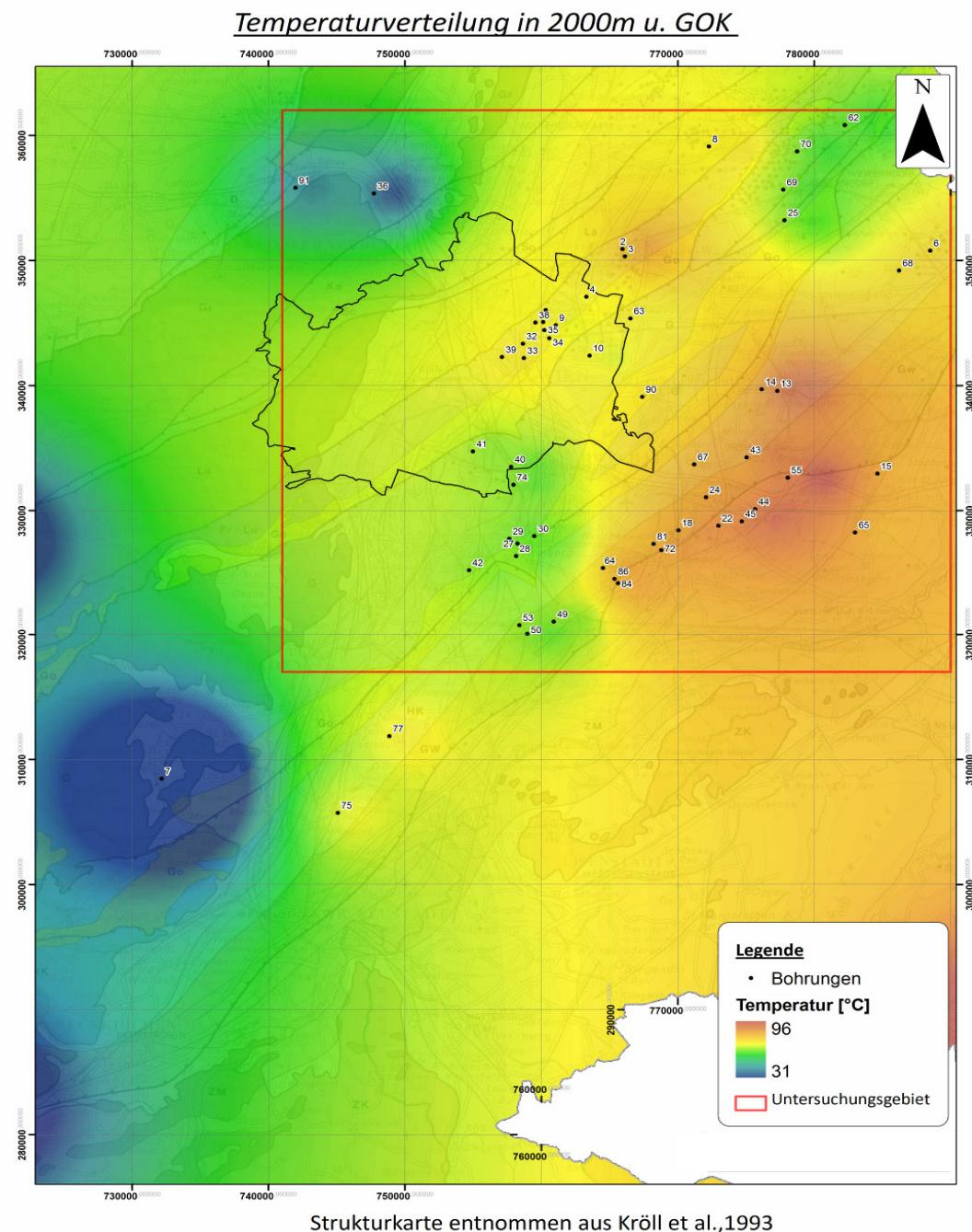


Abbildung 8.10 Temperaturverteilung in 2000 m u. GOK; Strukturkarte (Basis der tertiären Beckenfüllung) entnommen aus Kröll et al., 1993

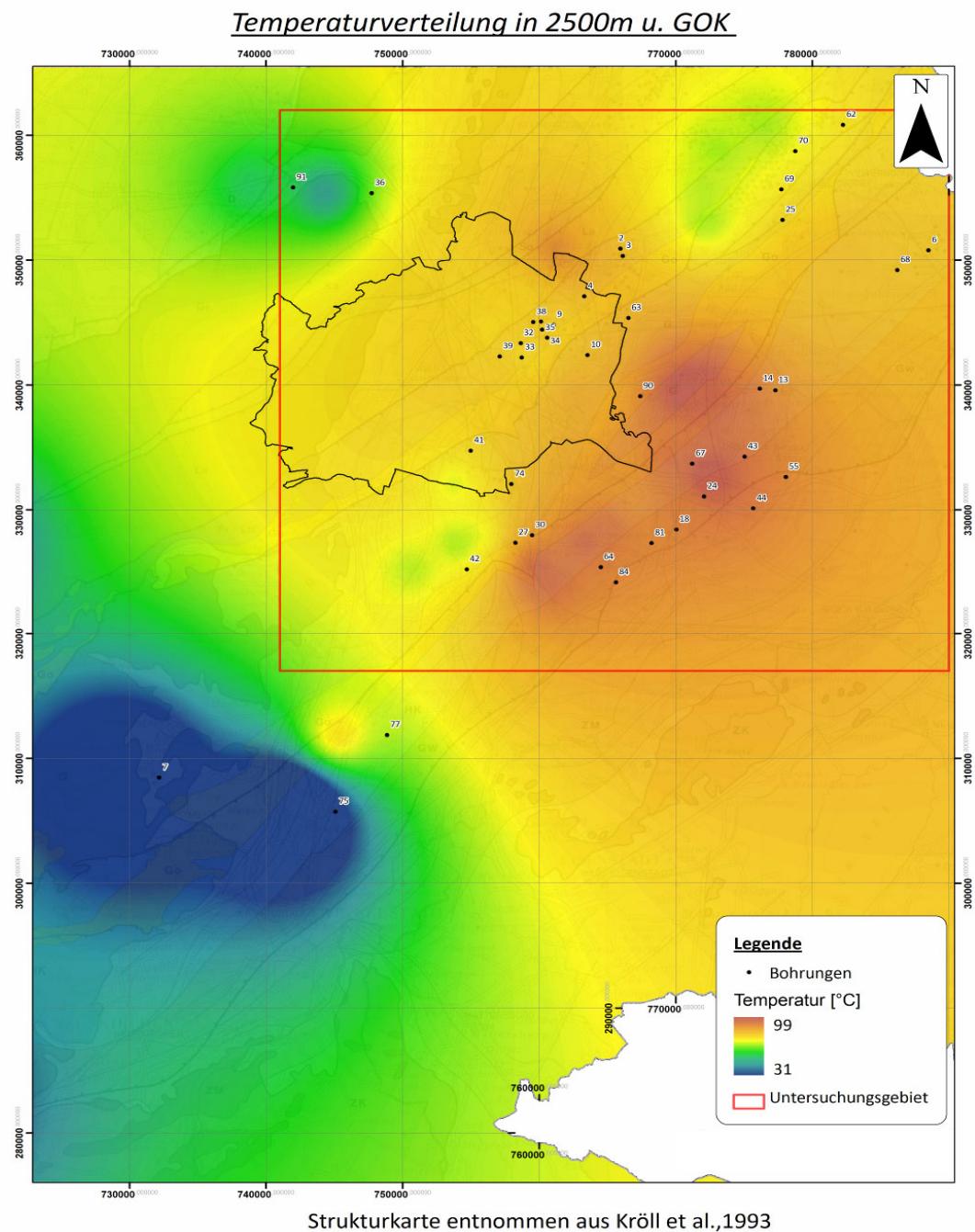


Abbildung 8.11 Temperaturverteilung in 2500 m u. GOK; Strukturkarte (Basis der tertiären Beckenfüllung) entnommen aus Kröll et al., 1993

8.2 Schlussfolgerungen

Eine wichtige Erkenntnis, die sich im Verlauf der Ausarbeitung der Diplomarbeit ergab, ist, dass zur genauen Darstellung der thermischen Verhältnisse exakte Angaben zur BHT-Korrektur notwendig sind. Die Stillstand- und Zirkulationszeiten waren zum Großteil nicht angegeben, sodass lediglich Abschätzungen der wahren Formationstemperatur möglich waren. Dieses Problem betrifft hauptsächlich alte Bohrungen (z.B. aus den 60er Jahren des 20.Jahrhunderts) und ist im Fall von neueren Bohrungen kaum gegeben.

Eine weitere wesentliche Folgerung, die aus dem thermischen Datenprozessing hervorgeht, ist die Tatsache, dass Temperaturdaten aus hydraulischen Formationstests bei der Betrachtung der thermischen Verhältnisse im Untergrund in jedem Fall herangezogen werden sollten. Die Temperaturwerte aus den DST-Tests entsprechen bekanntlich den wahren Formationstemperaturen.

Die Gegenüberstellung der verschiedenen BHT-Korrekturverfahren ergab, dass die automatisierte Temperaturprognose aus grafisch korrigierten BHT- und DST-Werten (INVERSION I) die Temperaturverhältnisse im Untergrund am Repräsentativsten darstellt. Der Grund dafür liegt zum einen darin, dass die INVERSION III zusätzlich zu den numerisch korrigierten Daten die instabile 1BHT-Korrektur mitberücksichtigt und zum anderen, dass die Ergebnisse aus INVERSION II sich nur im Zehntel-Bereich von INVERSION I unterscheiden. Ein Nachteil der grafisch ermittelten Daten ist, dass im Untersuchungsgebiet viele lokale Anomalien auftreten, sodass die INVERSION I und ihre glättende Funktion zu bevorzugen ist.

Eine Aussage über die geothermische Nutzung im Kerngebiet der Diplomarbeit kann nur dann erfolgen, wenn alle Informationen (thermische, chemische, hydraulische, geologische, ...) ausgewertet werden. Die Betrachtung der Temperaturverhältnisse in diesem Gebiet (und an den Rändern) sowie die Tatsache, dass relativ gleichmäßige Temperaturen bis in große Tiefen vorliegen, zeigt, dass eine geothermische Nutzung in Form von Gebäudeheizung bzw.

8. Interpretation und Schlussfolgerungen

„district heating“ (Beheizung von Siedlungsgebieten) oder auch Stromerzeugung möglich wäre. Eine aktuelle Studie für einzelne Gebiete im Wiener Becken („OMV THERMAL“) beschäftigt sich mit dieser Fragestellung. Abschließend kann festgehalten werden, dass die Ergebnisse der Diplomarbeit wie auch vorangegangene Studien die Ergebnisse aus Wessely (1983) untermauern.

Danksagung

Mein größter Dank gebührt der Geologischen Bundesanstalt, die mir für die Anfertigung der Diplomarbeit einen Arbeitsplatz zur Verfügung gestellt hat.

Im Speziellen gilt mein Dank meinem operativen Betreuer Mag. Gregor Götzl, denn ohne sein großes wissenschaftliches Interesse im Bereich der Geothermie wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Danken möchte ich ihm vor allem für seine Anregungen und seine Unterstützung.

Weiterer Dank gilt der OMV AG, die alle Informationen aus den Bohrungen zur Verfügung gestellt hat.

Mein ganz besonderer Dank gilt meiner Familie, die mir während des gesamten Studiums unterstützend beiseite gestanden ist.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1 Temperaturverteilung im Erdinneren, Quelle: www.erneuerbareenergiequellen.com (01.12.2010)	2
Abbildung 1.2 Geothermische Nutzung und Anwendungsmöglichkeiten, entnommen aus Götzl (2010)	4
Abbildung 1.3 Prinzip des Erdwärmesonden- und Aquiferspeicher, entnommen aus Kalschmitt (1999), S.94	6
Abbildung 2.1 Tektonische Stellung des Wiener Beckens im Alpen-Karpaten-Raum, entnommen aus Wessely (2006), S.190	10
Abbildung 2.2 Untersuchungsgebiet der Diplomarbeit und Strukturkarte (Basis der tertiären Beckenfüllung), entnommen aus Kröll et al., 1993	12
Abbildung 2.3 Vereinfachte Darstellung der Entwicklung des Wiener Beckens, entnommen aus Wessely (2006), S.196	14
Abbildung 2.4 Geologische Profile durch das nördliche und südliche Wiener Becken, entnommen aus Wessely (2006), S.191	14
Abbildung 2.5 Strukturkarte des Untergrundes des Wiener Beckens, entnommen aus Wessely (2006), S.193	21
Abbildung 2.6 Oberflächengeologische Übersichtskarte des Miozän des Wiener Beckens, entnommen aus Wessely (2006), S:192.....	22
Abbildung 2.7 Temperatur-Tiefen Profil der Bohrung Berndorf 1, entnommen aus Wessely (1983).....	27
Abbildung 4.1 Wärmezu- und abfuhr in einem infinitesimal kleinen Volumen dx dy dz, entnommen aus Incopera et al., 2007, S.70	38
Abbildung 5.1 Verfahren nach Horner (1951, adaptiert von Fertl & Wichmann, 1977) angewendet auf eine KW-Bohrung aus dem Untersuchungsgebiet	60
Abbildung 5.2 Verfahren nach Lachenbruch & Brewer (1959) angewendet auf eine KW- Bohrung aus dem Untersuchungsgebiet	62
Abbildung 6.1 BHT-Processing Datenbank mit wichtigen Informationen zu Bohrungen, im Rahmen des Projektes THERMALP erstellt.....	72
Abbildung 6.2 Darstellung des Tagesablaufes vor bohrlochgeophysikalischen Messungen.....	73
Abbildung 6.3 Diagramm mit Werten für die Dauer eines Rollenmeißelausbaus in Abhängigkeit von der Tiefe.....	74

Abbildung 6.4 Manuell erarbeitetes thermisches Profil für die Bohrung 057	85
Abbildung 6.5 Thermische Profile aus der automatisierten Temperaturprognose für Bohrung 057; Links: zweites Profil (INVERSION I), Mitte: drittes Profil (INVERSION II), Rechts: viertes Profil (INVERSION III)	87
Abbildung 6.6 Temperatur-Teufen Profil für die Bohrung 057	89
Abbildung 7.1 Temperaturkarten für 1000 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren: a. grafisch korrigierten BHT- und DST-Werten und b. Inversion I	95
Abbildung 7.2 Temperaturkarten für 1000 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren: a. Inversion II und b. Inversion II.....	96
Abbildung 7.3 Temperaturkarten für 1500 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren: a. grafisch korrigierten BHT- und DST-Werten und b. Inversion I	98
Abbildung 7.4 Temperaturkarten für 1500 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren: a. Inversion II und b. Inversion III	99
Abbildung 7.5 Temperaturkarten für 2000 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren: a. grafisch korrigierten BHT- und DST-Werten und b. Inversion I	101
Abbildung 7.6 Temperaturkarten für 2000 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren: a. Inversion II und b. Inversion III	102
Abbildung 7.7 Temperaturkarten für 2500 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren: a. grafisch korrigierten BHT- und DST-Werten und b. Inversion I	104
Abbildung 7.8 Temperaturkarten für 2500 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren: a. Inversion II und b. Inversion III	105
Abbildung 7.9 Temperaturkarten für 3000 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren: a. grafisch korrigierten BHT- und DST-Werten und b. Inversion I	108
Abbildung 7.10 Temperaturkarten für 3000 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren: a. Inversion II und b. Inversion III	109
Abbildung 7.11 Temperaturkarten für 3500 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren: a. grafisch korrigierten BHT- und DST-Werten und b. Inversion I	110
Abbildung 7.12 Temperaturkarten für 3500 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren: a. Inversion II und b. Inversion III	111
Abbildung 7.13 Temperaturkarten für 4000 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren: a. grafisch korrigierten BHT- und DST-Werten und b. Inversion I	113
Abbildung 7.14 Temperaturkarten für 4000 m u. GOK aus verschiedenen Verfahren: a. Inversion II und b. Inversion III	114

Abbildung 8.1 Abweichung des numerischen Korrekturverfahrens nach Leblanc et al. (1982) vom Mittelwert der grafischen Verfahren; strichlierte Kurve: normale Gaußverteilung.....	116
Abbildung 8.2 Vergleich der ungefilterten Temperaturkarte (oben) in 1000 m u. GOK mit der gefilterten Temperaturkarte (unten) in 1000 m u. GOK.....	118
Abbildung 8.3 Temperaturverlauf in 1000 m und 1500 m u. GOK; bei 1000 m ein DST- Wert (47°C); geologischer Schnitt nach Wessely (1983) ist in Abbildung 7.20 dargestellt	119
Abbildung 8.4 Temperaturverlauf in 2000 m und 2500 m u. GOK; graue Symbole: Temperatur (angegeben) aus DST in dieser Tiefe; geologischer Schnitt nach Wessely (1983) ist in Abbildung 7.20 dargestellt	120
Abbildung 8.5 Temperaturprofile von Bohrungen aus dem nordöstlichen Untersuchungsgebiet	122
Abbildung 8.6 Temperatur-Tiefen Profil der Bohrung Berndorf 1	123
Abbildung 8.7 Hydrologische Systeme am Rand und im Untergrund des Wiener Beckens. In der unteren Hälfte: Schnitte Berndorf – Baden – Oberlaa - Schönkirchen: Schnitt I (oben): Geologie, Schnitt II (unten): Temperatur und Hydrodynamik am Beckenrand und im zentralen Wiener Becken. Nach Wessely (1983), entnommen aus Wessely (2006).....	124
Abbildung 8.8 Temperaturverteilung in 1000 m u. GOK; Strukturkarte (Basis der tertiären Beckenfüllung) entnommen aus Kröll et al., 1993	127
Abbildung 8.9 Temperaturverteilung in 1500 m u. GOK; Strukturkarte (Basis der tertiären Beckenfüllung) entnommen aus Kröll et al., 1993	128
Abbildung 8.10 Temperaturverteilung in 2000 m u. GOK; Strukturkarte (Basis der tertiären Beckenfüllung) entnommen aus Kröll et al., 1993	129
Abbildung 8.11 Temperaturverteilung in 2500 m u. GOK; Strukturkarte (Basis der tertiären Beckenfüllung) entnommen aus Kröll et al., 1993	130

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1 Koordinaten des Kerngebietes der Diplomarbeit.....	11
Tabelle 4.1 spezifische Wärmekapazität c [J/kg K] für einige Stoffe bei Zimmertemperatur ($T=20^\circ\text{C}$), entnommen aus Buntebarth (1980).....	32
Tabelle 4.2 Wärmeleitfähigkeitswerte für einige Gesteine, entnommen aus Götzl et al. (2010)	34
Tabelle 4.3 Temperaturabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von Gesteinen, entnommen aus Kappelmeyer & Haenel, 1974	35
Tabelle 5.1 BHT-Daten aus folgenden geophysikalischen Bohrlochmessungen	49
Tabelle 6.1 Berechnung der Messzeit der Temperatur, in grün: Logs, bei denen maximale Temperatur ermittelt; v-Log: Geschwindigkeit der Sonde, AA: Arbeitsauftrag; in rot: die gesamte Messdauer in Minuten, die aus dem Arbeitsauftrag hervorgeht.....	75
Tabelle 6.2 Bohrungen und die verschiedenen Korrekturverfahren für mehrere BHT-Werte; in rot: starke Abweichungen von den anderen Verfahren	80
Tabelle 6.3 Bohrungen und die Korrekturverfahren für einen BHT-Wert, in rot: starke Abweichung vom anderen Verfahren.....	81
Tabelle 6.4 Durchschnittliche Temperaturgradient für einige Bohrungen in [$^\circ\text{C}/\text{km}$]; in rot: Bohrung mit negativen Gradienten	90

Literaturverzeichnis

- BINOT, R., 1987, *Das Temperaturfeld des östlichen Niedersächsischen Beckens.* Interne Berichte der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover; zitiert in: KAMYAR, H. R. (2000), *Verteilung der Untergrundtemperaturen an den Beispielen der Bohrlochtemperatur (BHT)-Messungen in den RAG-Konzessionen, Oberösterreichs und Salzburgs, (Molasse- und Flyschzone)*, Wien, Univ. Wien, Diss.
- BIRCH, F., 1948, The effect of Pleistocene climatic variations upon geothermal gradients. Am. J. Sc., Volume 246, p. 729-760; zitiert in: KAMYAR, H. R. (2000), *Verteilung der Untergrundtemperaturen an den Beispielen der Bohrlochtemperatur (BHT)-Messungen in den RAG-Konzessionen, Oberösterreichs und Salzburgs, (Molasse- und Flyschzone)*, Wien, Univ. Wien, Diss.
- BIRCH, F., 1950, *Flow of heat in the Front Range, Colorado.* Bull. Geol. Am., Volume 61, p. 567-630; zitiert in: HENRY, S.G., POLLACK, H.N., 1985, *Heat flow in the presence of topography: Numerical analysis of data ensembles.* Geophysics, Volume 50, No. 8, p. 1335-1341.
- BLACKWELL, D.D., STEEL, J.L., BROTT, C.A., 1980, *The terrain effect on terrestrial heat flow.* J. Geophys. Res., Volume 85 (B9), p. 4757-4772; zitiert in: HENRY, S.G., POLLACK, H.N., 1985, *Heat flow in the presence of topography: Numerical analysis of data ensembles.* Geophysics, Volume 50, No. 8, p. 1335-1341.
- BOLDISZAR, T., 1968, *Geothermal data from the Vienna basin.* J. Geophys. Res., Volume 73, No. 2, p. 613-618.
- BROTT, C.A., BLACKWELL, D.D., MORGAN, P., 1981, *Continuation of heat flow data: A method to construct isotherms in geothermal areas.* Geophysics, Volume 46, No. 12, p. 1732-1744.
- BUNTEBARTH, G., 1980, *Geothermie – Eine Einführung in die allgemeine und angewandte Wärmelehre des Erdkörpers.* Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.
- CAO, S., LERCHE, I., HERMANRUD, C., 1988, *Formation temperature estimation by inversion of borehole measurements.* Geophysics, Volume 53, No. 7, p. 979-988.
- CARLSLAW, H.S., JAEGER, J.C., 1959, *Conduction of heat solids.* 2nd edition, Oxford University Press.

CERMÁK, V., 1979, *Heat Flow Map of Europe*. - In: CERMÁK, V., RYBACH, L. (eds.), 1979, *Terrestrial Heat Flow in Europe*. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.

CLAUSER, C., 2006, Geothermal Energy. In: HEINLOTH, K. (ed.), *Landolt-Börnstein, Group VIII "Advanced Materials and Technologies"*, Vol. 3 "Energy Technologies", Subvol. C "Renewable Energies", Springer Verlag, Heidelberg-Berlin, 480-595. Preprint. URL: <http://www.geophysik.rwth-aachen.de/Downloads/pdf/GeothermalEnergyPreprint.pdf> (abgerufen am 14. Dezember 2009).

DRURY, M.J., JESSOP, A.M., 1982, *The effect of a fluid filled fracture on the temperature profile in a borehole*. Geothermics, Volume 11, p. 145-152; zitiert in: RIBEIRO, F.B., HAMZA, V.M., 1986, *Short Note – Stabilization of bottom-hole temperature in the presence of formation fluid flows*. Geophysics, Volume 51, No. 2, p. 410-413.

EBNER, F., SACHSENHOFER, R., 1991, *Die Entwicklungsgeschichte des steirischen Tertiärbeckens*. Mitt. Abt. Geol. Paläont. Landesmus. Joanneum, Band 49, S. 1-96.

FERTL, W.H., WICHMANN, P.A., 1977, *How to determine static BHT from well log data*. World Oil, Volume 184, p. 105-106.

GMEINER, B., 1996, *Korrekturverhalten in der Geothermie an den Beispielen von IR-Oberflächen Temperaturmessungen und Bohrlochtemperaturmessungen*. Wien, Uni. Wien, Diss.

GOETZL, G., POLTNIG, W., DOMBERGER, G., LIPIARSKI, P., 2008, *Projekt TRANSTHERMAL – INTERREG IIIA Austria-Slovenia, Abschlussbericht für Österreich*. Wien-Graz-Klagenfurt, 2008.

GOETZL, G., FABER, R., JANDA C., SCHUBERT, G. ZEKIRI, F., 2009, *Coupled geothermal – hydraulic 3D modeling of the Southern Vienna Basin. A state of the art decision planning tool for sustainable hydrothermal exploitation inside an environment of sensitive hydraulic circulation systems*. Proceedings, World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010.

GOETZL, G., 2010, *Aktuelle Aspekte der Geothermie aus der Sicht der Geowissenschaft mit Fokus auf die Geophysik*. Vorlesung vom 22.03.2010, SS2010, Institut für Meteorologie und Geophysik, Uni. Wien.

GOLDBRUNNER, J., 1987, *Zum Stand der geothermischen und balneologischen Tiefengrundwassernutzung im Oststeirischen Becken und im Oberösterreichischen Molassebecken*. Mitt. dt. Geol. Ges., Band 38, S. 513-526.

GOLDBRUNNER, J., JOHANN, E., 1990, *Erfassung des gesamten geothermischen Energiepotentials des oberösterreichischen Molassebeckens*. Report, Joanneum Research, Graz.

HAENEL, R., ZOTH, G., 1973, *Heat Flow Measurements in Austria and Heat Flow Maps of Central Europe*. Zeitschrift für Geophysik, Volume 39, p. 425-439.

HAENEL, R., 1975, *Flächenhafte Darstellung von Temperaturdaten aus dem Untergrund Deutschlands*. NLFB/BGR Archiv, Nr. 66728, Hannover.

HÄRNIG, M.O., 2007, *Geothermische Stromproduktion aus Enhanced Geothermal Systems (EGS)*; Stand der Technik. Geothermal Explorers Ltd., CH-4133 Pratteln.

HENRY, S.G., POLLACK, H.N., 1985, *Heat flow in the presence of topography: Numerical analysis of data ensembles*. Geophysics, Volume 50, No. 8, p. 1335-1341.

HORNER, D.R., 1951, *Pressure Build-Up in Wells, Proceedings*. Third World Petroleum Congress – Section 11, p. 503-521, The Hague.

HORVATH, S., 1993, *Geophysikalische Bohrlochmessungen*. - In: BRIX, F., SCHULTZ, O. (eds.), 1993, *Erdöl und Erdgas in Österreich*. 2. Auflage, Naturhistorisches Museum Wien, S. 136-144.

HURTIG, E. (ed.-in-chief), CERMÁK, V., HAENEL, R., ZUI, V., 1992, *Geothermal Atlas*. Association for Seismology and Physics of the earth's interior/International Heat Flow Commission/Central Institute for Physics of the Earth. – In: GeoForschungsZentrum Potsdam Publication. Hermann Haack-Verlag, Gotha.

INCOPERA, F.P., DEWITT, D.P., 2007, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 6th Edition, Wiley, New York.

KALTSCHMITT, M., HUENGES, E., WOLFF, H. (eds.), 1999, *Energie aus Erdwärme: Geologie, Technik und Energiewirtschaft*. Dt. Verl. f. Grundstoffind., Stuttgart.

KAMYAR, H., 2000, *Verteilung der Untergrundtemperaturen an den Beispielen der Bohrlochtemperatur (BHT)-Messungen in den RAG-Konzessionen, Oberösterreichs und Salzburgs, (Molasse- und Flyschzone)*, Wien, Univ. Wien, Diss.

KAPPELMEYER, O., HAENEL, R., 1974, *Geothermics with special references to application*. Geopublications Associates, Gebrüder Bornträger, Berlin, Stuttgart.

KOHL, T., 2002, *Beilage zur Vorlesung GEOTHERMIK*. Vorlesung vom 29.10.2002, WS02/03, Institut für Geophysik, ETH Zürich.

KOHL, T., HOPKIRK, J., 1995. „*FRACTure*“ – A simulation code for forced fluid flow and transport in fractured, porous rock. *Geothermics*, Volume 24, No. 3, p. 333-343.

KROELL, A., WESSELY, G., 1993, Strukturkarte – Basis der tertiären Beckenfüllung. *Geologische Bundesanstalt*, Wien.

KUNZ, B., 1978, *Temperaturmessungen in Erdölbohrungen der Molassezone Oberösterreichs und Salzburgs*. Mitteilungsblatt der österreichischen geologischen Gesellschaft, Band 68, S. 51-58.

KUTAS, R.I., GORDIENKO, V.V., 1971, *Thermal fields of Ukraine*. Naukova dumka, Kiev.

LACHENBRUCH, A.H., BREWER, M.C., 1959, *Dissipation of the temperature of drilling a well in Arctic Alaska*. Geological Survey Bulletin, Volume 1083C, p. 73-109, Washington.

LEBLANC, Y., PASCOE, L.J., JONES, F.W., 1981, *The temperature stabilization of a borehole*. *Geophysics*, Volume 46, No. 9, p. 1301-1303.

LEBLANC, Y., PASCOE, L.J., JONES, F.W., 1982, *A comparison of two methods of estimating static formation temperature from well logs*. *Geophysical Prospecting*, Volume 30, p. 348-357.

LEE, T.C., DUCHKOV, A.D., MOROZOV, S.G., 2003, *Determination of thermal properties and formation temperature from borehole thermal recovery data*. *Geophysics*, Volume 68, No. 6, p. 1835-1846.

LEUTNER, M., 1990, *Die Temperaturverteilung im Neogen des Wiener Beckens und dessen Untergrund*, Leoben, Univ. Leoben, Dipl.-Arbl.

LUHESHI, M.N., 1983, *Estimation of formation temperature from borehole measurements*. *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.*, Volume 74, p.747-776; zitiert in: RIBEIRO, F.B., HAMZA, V.M., 1986, *Short Note – Stabilization of bottom-hole temperature in the presence of formation fluid flows*. *Geophysics*, Volume 51, No. 2, p. 410-413.

MAJER, E.L., BARIA, R., STARCK, M., OATES, S., BOMMER, J., SMITH, B., ASANUMA, H., 2007, *Induced seismicity associated with Enhanced Geothermal Systems*. *Geothermics*, Volume 36, p. 185-222.

MCPHERSON, B.J.O.L., CHAPMAN, D.S., 1996, *Thermal analyses of the southern Powder River Basin, Wyoming*. *Geophysics*, Volume 61, No. 6, p. 1689-1701.

MIDDLETON, M.F., 1979, A model for bottom-hole temperature stabilization. *Geophysics*, Volume 44, No. 8, p. 1458-1462.

MIDDLETON, M.F., 1982, Bottom-hole temperature stabilization with continued circulation of drilling mud. *Geophysics*, Volume 47, No. 12, p. 1716-1723.

ÖWAV , 2009, ÖWAV-Regelblatt 207; *Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds – Heizen und Kühlen*. 2. Auflage, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverbund, Wien.

RIBEIRO, F.B., HAMZA, V.M., 1986, *Short Note – Stabilization of bottom-hole temperature in the presence of formation fluid flows*. *Geophysics*, Volume 51, No. 2, p. 410-413.

SACHSENHOFER, R., 1993, *Integrative Studie des steierischen Beckens*, Leoben, Univ. Leoben, Habil.

SASS, J.H., LACHENBRUCH, A.H., MOSES, T., MORGAN, P., 1992, *Heat flow from a scientific research well at Cajon Pass, California*. *J. Geophys. Res.*, Volume 94 (B4), p. 5017-5030.

SCHULZ, R., SCHELLSCHMIDT, R., 1991, *Das Temperaturfeld im südlichen Oberrheingraben*. *Geol. Jahrbuch*, E 48, Hannover, p. 153.155.

SEIPOLD, U., 2001, *Der Wärmetransport in kristallinen Gesteinen unter Bedingungen der kontinentalen Kruste*. Scientific Technical Report, STR01/13, Geoforschungszentrum (GFZ), Potsdam.

SHEN, P.Y., BECK, A.E., 1986, *Stabilization of bottom hole temperature with finite circulation time and fluid flow*. *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.*, Volume 86, p. 63-90.

SPÖRKER, H., 1993, *Technik des Bohrens*. - In: BRIX, F., SCHULTZ, O. (eds.), 1993, *Erdöl und Erdgas in Österreich*. 2.Auflage, Naturhistorisches Museum Wien, S. 100-113.

STRAUCH, E., KREMSE, A., *Formationauswertung*. - In: BRIX, F., SCHULTZ, O. (eds.), 1993, *Erdöl und Erdgas in Österreich*. 2.Auflage, Naturhistorisches Museum Wien, S. 561-563.

TIPLER, P.A., 1994, *Physik*. 1.Auflage, Spektrum Akad. Verlag, Heidelberg (u.a.).

VILLINGER, H., 1982, *Solving cylindrical geothermal problems using the Gaver-Stehfest inverse Laplace-transform*. *Geophysics*, Volume 50, No. 10, p. 1581-1587.

WALKER-HERTKORN, S., 2000, *Geothermal energy, an important but disregarded form of renewable energy. Geological situation, projects and economy in Austria*. Wien, Univ. Wien, Inst. F. Geol.,

WARREN, R.E., SCLATER, J.G., VACQUIER, V., ROY, R., 1969, *A comparison of terrestrial heat flow and transient geomagnetic fluctuations in the southwestern United States*. Geophysics, Volume 34, No. 3, p. 463-478.

WEISSENBAECK, M., 1995, *Lower to Middle Miocene sedimentation model of the central Vienna Basin*. – In: WESSELY, G., LIEBL, W. (eds.), *Oil and Gas in alpidic thrustbelts and basins*. EAGE Spec. Publ., Volume 5, London (The Geological Society); zitiert in: WESSELY, G., 2006, *Niederösterreich*. Verl. der Geol. Bundesanst, Wien.

WESSELY, G., 1983, *Zur Geologie und Hydrodynamik im südlichen Wiener Becken und seiner Randzone*. Mitteilungen der österreichischen Geologischen Gesellschaft, Wien, S. 27-68.

WESSELY, G., 1993, *Der Untergrund des Wiener Beckens*. – In: BRIX, F., SCHULTZ, O. (eds.), 1993, *Erdöl und Erdgas in Österreich*. 2.Auflage, Naturhistorisches Museum Wien, S. 249-280.

WESSELY, G., 2006, *Niederösterreich*. Verl. der Geol. Bundesanst, Wien.

WRIGHT, P.M., WARD, S.H., ROSS, H.P., WEST, R.C., 1985, *State-of-the-art geophysical exploration for geothermal resources*. Geophysics, Volume 50, No. 12, p. 2666-2699.

ZOETL, J., 1980, *Nutzung von Geothermalenergie im Innviertel*. Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergb. Landesmuseum Joanneum, Graz, Heft 40, S. 69-70.

Anhang

Verwendete Bohrungen und ihre Nummerierung:

Bohrung	Nummer
Aderklaa 088	1
Aderklaa 093	2
Aderklaa NT 001	3
Aderklaa West T001	4
Apetlon 001	5
Baumgarten 002	6
Baumgarten 005	92
Berndorf 001	7
Bockfliess 032	8
Breitenlee 003	9
Breitenlee 009	93
Breitenlee 021	10
Breitenlee U 001	11
Breitenlee U 003	12
Breitstetten 001	13
Breitstetten T 001	14
Eckartsau 001	94
Eckartsau 002	15
Enzersdorf 004	95
Enzersdorf 017	16
Enzersdorf 018	107
Enzersdorf 021	17
Enzersdorf Ost 001	18
Enzersdorf Süd 001	19
Enzersdorf U 004	96
Enzersdorf U 005	20
Fischamend 002	109
Fischamend 004	110
Fischamend 006	22
Fischamend 007	23
Fischamend T 001	24
Gänserndorf T 002	97
Gänserndorf T 004	25
Gänserndorf ÜT 003	98
Göttlesbrunn 001	99
Göttlesbrunn 002	26
Götzendorf 001	100
Himberg 001a	27
Himberg 002	28
Himberg 003	29
Himberg Ost 001	30
Hirschstetten 001	31
Hirschstetten 003	32
Hirschstetten 004	33
Hirschstetten 005	34
Hirschstetten 006	35

Höflein 003	36
Kagran T 001	37
Kagran T 002	38
Kaisermühlen T 001	39
Kledering 002	101
Kledering 003	40
Laaerberg 001	41
Laxenburg 001	111
Laxenburg 002	42
Mannsdorf T 001	43
Maria Ellend 001	44
Maria Ellend 002	102
Maria Ellend 003	45
Maria Ellend 004	46
Markgrafneusiedl NT 001	103
Moosbrunn 001	47
Moosbrunn 002	48
Moosbrunn 003	49
Moosbrunn 004	50
Moosbrunn 005	51
Moosbrunn Ost 001	52
Moosbrunn W 001	53
Moosbrunn W 002a	104
Moosbrunn W 003	54
Orth 001	55
Orth 002	56
Orth Ost 001	105
Orth U 001	57
Orth U 002	58
Orth U 003	59
Pamhagen 002	60
Payerbach Thermal 001	61
Prottes ÜT 002a	62
Raasdorf T 003b	63
Rauchenwarth 001	64
Regelsbrunn 001	65
Riedenhof 001	66
Schönau 001a	67
Schönenfeld 001	68
Schönenfeld T 001	106
Schönkirchen T 034	69
Schönkirchen T 052	70
Schwadorf Ost 001	71
Schwadorf U 002	73
Schwadorf U 004	72
Schwechat 001a	74
Sollenau 001	75
St. Corona 001	76
Tattendorf 001	77
Trumau 001	78

Velm 001	79
Wienerherberg 002	80
Wienerherberg 003	81
Wienerherberg 005	82
Wienerherberg Süd 001	83
Wienerherberg T 001	84
Wienerherberg U 001	89
Wienerherberg U 002	85
Wienerherberg U 003	86
Wienerherberg U 004	87
Wienerherberg U 005	88
Wittau ÜT 001(a,b)	90
Wördern U 001	91
TB 001	21
TB 002	108

Tabelle mit korrigierten Daten:

		[°C]	korrigierte Werte [°C]						
Nr.	Tiefe	BHT-Werte	Horner	Lachenbruch & Brewer	Numer. Verfahren	INV. I	INV. II	INV. III	1BHT-Korrektur
1	2030	65	-	-	-	-	-	80,2	86,1
	2897	97	-	-	-	-	-	103,6	104,9
	2897	103	-	-	-	-	-	103,6	111,6
	2899	96	-	-	-	-	-	103,6	103,8
	2903	84	-	-	-	-	-	103,6	96,6
	3400	103	-	-	-	-	-	113,4	110,1
2	1749	49	-	-	-	76,5	76,6	61,5	54,7
	2231	60	-	-	-	91,8	91,9	73	67
	2418	77	-	-	-	98,3	98,4	77,9	81,5
	2550	80	-	-	-	102,9	102,9	81,3	84,3
	2645	81	-	-	-	106,1	106,2	83,8	85,3
	2773	80	-	-	-	109,2	110,3	86,8	84,2
	3010	88	-	-	-	116,9	117	91,9	92,2
	3051	86; 92	114,4	119,8	117,5	118	118,1	92,7	-
3	1203	43; 44	55,1	48	64,6	51,4	51,7	51,3	-
	2812	79; 82; 85; 86	85,3	90,6	86,1	95,3	95,9	95	-
	3217	94	-	-	-	103,4	104,3	103,3	102,1
	3274	95; 100	106,7	107,4	106,7	104,8	105,3	104,3	-
	3745	106	-	-	-	113,3	114	112,8	113,7
	3806	105	-	-	-	114,4	115	114	112,8
4	2021	63; 64	65,4	65,5	65,3	70,8	70,8	65,5	-
	2070	63	-	-	-	72	72	66,7	73,5
	2503	75; 76	77,5	77,6	77,4	82,5	82,5	76,2	-
	2935	83	-	-	-	92,9	92,9	85,7	88,6
	3062	84	-	-	-	95,6	95,6	88,1	89,4
	3074	82	-	-	-	95,8	95,8	88,2	84,9
	3077	80; 81; 84	82	81,9	81,9	95,8	95,8	88,3	-
5	203	30	-	-	-	19	-	18,6	32,3
	1200	45	-	-	-	53,3	-	51,4	47,9
	1250	45; 57	58,1	63,3	61,9	54,3	-	52,4	-
6	980	37	-	-	-	43,4	43,5	42,8	41
	1511	48; 57	69,4	65,8	70,2	59,7	59,8	58,8	-
	2095	68; 74	78,3	74,4	78,3	76,4	76,5	75,2	-
	2829	89	-	-	-	95,2	95,3	93,6	93,5
	2863	87	-	-	-	95,8	96	94,2	91,4
	2870	97	-	-	-	96	96,2	94,4	98,7
	2895	89	-	-	-	96,4	96,7	94,8	93,5
	2941	87	-	-	-	97,4	97,6	95,7	91,2
	2989	91	-	-	-	98,2	98,4	96,5	95,4
92	1527	57	-	-	-	-	-	60,7	63,8
	2011	67	-	-	-	-	-	73,9	74,4

	2594	88	-	-	-	-	-	90,8	92,5
	2641	88	-	-	-	-	-	91,8	92,5
	2692	87	-	-	-	-	-	92,9	91,4
	2732	89	-	-	-	-	-	93,7	92,8
	2772	82	-	-	-	-	-	94,6	85,8
	2822	89	-	-	-	-	-	95,6	93,3
	3002	87	-	-	-	-	-	99,5	91,0
	3111	101	-	-	-	-	-	101,9	105,4
	3295	100	-	-	-	-	-	105,8	104,0
	3305	102	-	-	-	-	-	106	106,1
	3321	103	-	-	-	-	-	106,4	107,3
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	1485	51	-	-	-	57,5	57,6	55,9	56,1
	2136	78	-	-	-	77,3	77,3	74,9	85,5
	2626	71; 78	84,9	84,8	85,3	90,4	90,4	87,5	-
	2918	85	-	-	-	98,4	98,3	95,3	91,5
	3103	93	-	-	-	102,1	102,1	98,9	97,6
	3154	94	-	-	-	103,3	103,2	100	98,8
	3333	99; 103	107	106,4	106,7	106,3	105,8	102,9	-
	3552	104	-	-	-	110,1	110	106,5	107,2
	3671	104	-	-	-	112,1	112,1	108,5	109,3
	3829	105	-	-	-	114,9	114,8	111,2	109,8
	4003	106; 110	121	122,6	121,6	117,8	117,8	114	-
93	1999	52	-	-	-	-	-	68,8	61,9
	2777	84	-	-	-	-	-	88,6	91,8
	3008	81	-	-	-	-	-	93,9	88,8
	3234	86	-	-	-	-	-	98,6	94,1
	3560	94	-	-	-	-	-	105,5	100,7
	3650	93	-	-	-	-	-	107,4	99,6
	3650	96	-	-	-	-	-	107,4	102,9
	3876	115	-	-	-	-	-	112	117,3
	4189	120	-	-	-	-	-	117,4	124,8
	4537	125	-	-	-	-	-	123,5	129,2
	4541	124	-	-	-	-	-	123,7	129
	4545	123	-	-	-	-	-	123,7	128,1
10	1685	55	-	-	-	60,2	61,5	62,2	64
	2209	69; 71	71,7	78,9	77,5	74,3	75,5	76,5	-
	2809	77; 78	78,6	78,2	78,6	88,1	90	91,2	-
	3627	97	-	-	-	105,4	107,8	109,3	106,4
	3978	105; 106	106,3	107,3	107,3	111,8	114,3	116	-
	4250	108	-	-	-	116,7	119,4	121,1	114,8
	4251	116	-	-	-	116,7	119,4	121,1	121,4
	4252	114	-	-	-	116,7	119,4	121,1	118,2
	4254	114; 119	120,4	123,2	123,4	116,8	119,4	121,2	-
	4601	128	-	-	-	123,2	126	127,9	132,2
	4601	128; 130	131,1	133,1	132,5	123,2	126	127,9	-
11	1599	54; 55	55,5	55,5	55,4	56,5	56,5	-	-
12	1599	62; 70	71,9	70,8	71,9	72	72,1	-	-

13	1240	48	-	-	-	55,1	55,2	52,6	64
	1833	60	-	-	-	75,8	75,9	72,0	67
	2375	77	-	-	-	95	95,2	90,2	86
	2748	83	-	-	-	106,9	107,1	101,3	91
	3031	106	-	-	-	114,9	115,1	108,8	117
	3052	94	-	-	-	115,5	115,7	109,3	103
	3078	96	-	-	-	116,5	116,7	110,3	101
	3554	119	-	-	-	132	132,2	124,8	123
	3765	117; 128	139,6	137,8	140,8	137,3	137,5	129,7	-
14	703	30	-	-	-	36,2	36,2	34,8	34,3
	1979	64	-	-	-	81,7	81,6	77,7	69,2
	2582	82	-	-	-	102,6	102,5	97,4	89,1
	2857	81; 96	107,8	105,8	111	110,6	110,3	104,8	-
	3311	111	-	-	-	124,2	124	117,6	115,5
	3822	125	-	-	-	136,8	136,6	129,4	129,7
	3926	132; 133; 135; 138	138,3	145,9	138,1	139,3	139,1	131,8	-
94	1698	57,5	-	-	-	-	-	62,3	60,9
	1992	69	-	-	-	-	-	69,1	70,3
15	402	33	-	-	-	25	25	25	35
	1459	56	-	-	-	58,6	58,5	58,7	61,6
	1857	62; 63; 67; 72,4	70,1	68,6	70,3	69,2	69,1	69,7	-
95	1717	46,5	-	-	-	-	-	63,9	48,8
	2462	92,3	-	-	-	-	-	85,1	94,7
16	2166	49	-	-	-	74,5	-	57	56,4
107	538	30	-	-	-	-	-	28,3	30,8
	579	27	-	-	-	-	-	29,6	27,2
17	1049	46; 47	53,1	53,1	54,6	51,5	51,9	-	-
18	603	35	-	-	-	35,5	35,7	35,8	42,2
	2701	86; 91	106,4	107	109,2	107,5	108,3	108,9	-
19	425	32	-	-	-	26,8	26,8	27,3	36,1
	1118	40; 42; 45	49,9	49,5	48,7	51	50,8	52,1	-
96	1098	47	-	-	-	-	-	48,9	47,9
20	948	40	-	-	-	43,8	43,7	44,5	47
	1200	44; 48; 49	50,6	51,1	50,7	51,8	51,7	52,7	-
21	834	48; 47	50	50,5	49,8	51,2	51,1	-	-
108	289	33	-	-	-	28	27,9	29,2	34,6
	469	40; 41; 42	43,6	43,5	42,8	37,5	37,3	39,3	-
109	730	30	-	-	-	36,7	-	31,8	30,7
	731	33	-	-	-	36,7	-	31,8	34,2
	779	34	-	-	-	38,4	-	33,2	34,3
110	778	34; 41	45,9	62,2	63,6	55,1	58,3	-	-
22	1500	54; 55	60,2	57,5	61	62	62,4	-	-
	1718	64; 65; 71	72,1	71,9	72,5	69,6	70	-	-
23	999	38; 39	44,7	45,3	46,4	46	46,4	-	-
24	1385	49	-	-	-	52,4	52,5	54	66,3
	2327	71	-	-	-	78,7	78,6	81,3	80,4
	3175	95	-	-	-	99,6	99,5	103,2	109,2
	3235	91; 95	100	100,2	99,9	101	100,9	104,6	-

97	2916	74	-	-	-	-	-	93,3	87,8
	2935	75	-	-	-	-	-	93,6	89
	3030	78	-	-	-	-	-	96,2	92,4
	3097	78	-	-	-	-	-	97,6	89,7
	3097	85	-	-	-	-	-	97,6	98,1
	3446	99	-	-	-	-	-	103,8	105,6
	4996	135	-	-	-	-	-	131,8	142,2
25	2204	62; 63	65,4	65,9	65,2	70,7	70,2	71,4	-
	2992	86	-	-	-	88	87,3	89	92
	3463	86; 88	97,8	102	97,6	96,5	95,7	97,6	-
98	3453	91	-	-	-	-	-	106,2	105,4
	4979	130	-	-	-	-	-	137,5	136,5
	5278	149	-	-	-	-	-	143,9	157,9
	5609	148	-	-	-	-	-	150	155,1
99	1481	56	-	-	-	-	-	56,6	59,8
	1680	58	-	-	-	-	-	61,6	59
26	1400	55; 56	62	70	62,8	66,9	65,8	-	-
100	454	42	-	-	-	-	-	27,9	47,9
	1499	60	-	-	-	-	-	65,9	64,9
	2211	68	-	-	-	-	-	91,5	90,5
	2408	70	-	-	-	-	-	97,6	72,6
27	690	27	-	-	-	31,7	31,7	31,1	28,2
	696	25	-	-	-	31,9	31,9	31,3	25,1
	1079	35	-	-	-	43,1	43,1	42,1	41,5
	1702	51; 53	57,3	56,1	57,9	59,2	59,2	57,7	-
	1947	58	-	-	-	65,5	65,5	63,8	60,3
	2074	65	-	-	-	68,3	68,4	66,6	70,8
	2242	60	-	-	-	71,1	71,2	69,3	64,9
	2528	71	-	-	-	75,5	75,5	73,5	73
	2559	72	-	-	-	75,9	76	73,9	77,8
28	1750	54	-	-	-	61,3	-	60,8	59,8
	1750	54	-	-	-	61,3	-	60,8	60,3
29	1280	47	-	-	-	48,5	-	47,7	49,4
	1625	54	-	-	-	58,4	-	57,4	58,4
	1740	57	-	-	-	62	-	61	59
30	152	37	-	-	-	15,8	15,8	15,9	44,1
	1600	52	-	-	-	55,5	55,6	55,9	58,9
	3000	79; 83	89,3	89,2	89,7	90,2	90,4	91	-
31	1516	47	-	-	-	54,7	54,5	54	56,5
	2583	75	-	-	-	83,1	83,2	82	80,5
	2856	80	-	-	-	88,8	88,8	87,7	86,9
	2956	78	-	-	-	90,5	90,5	89,3	84,2
	3075	90	-	-	-	92,5	92,5	91,3	96,9
	3197	94; 95	93,5	93,7	93,6	94,6	94,6	93,3	-
32	1454	43; 47	49,2	50,1	49,7	52,4	52,6	52,8	-
	2040	67	-	-	-	68,5	68,8	69	71,5
	2533	76; 77; 78	81	80	80,9	80,3	80,7	80,9	-
	2983	79; 80	81,8	82,4	81,6	90,5	90,9	91,2	-
	3099	84; 85; 91	95,6	93	96,7	92,3	92,8	93	-

33	1542	52	-	-	-	59,5	60	55,8	57,1
	2548	74	-	-	-	88,3	89	82,2	78,6
	2680	76	-	-	-	91,8	92,5	85,4	78,7
	2850	62; 86	105,2	94,1	106,5	96	96,7	89,2	-
34	2531	69	-	-	-	83,8	88,5	83,3	73,7
	2533	66; 67; 70	80,1	97,5	80,8	83,9	88,6	83,4	
	3061	87	-	-	-	96,4	97	95,7	99,5
	3619	98	-	-	-	108,5	109,2	107,8	105,8
	3655	99	-	-	-	109,2	110	108,5	106,2
	3962	99; 103	127,3	110,3	132,7	116	116,8	115,2	-
	4005	102; 104	108,6	108,1	108,4	116,9	117,7	116,1	-
35	1297	45; 47; 48	51,9	50,1	52,8	54	54	53,5	-
	2069	67	-	-	-	77,8	77,5	76,8	72,9
	2302	72	-	-	-	84,1	83,7	83	79,1
	2902	80; 81; 84; 88; 90	94,1	94,9	94,5	99	98,6	97,7	-
	2921	84; 85; 88; 89; 95	95,2	108,6	95,6	99,4	98,9	98	-
	2930	82; 83; 91; 92; 93	99,9	96,3	101	99,6	99,1	98,2	-
	2982	80; 85; 86; 89	98,9	98,6	98,9	100,4	100	99,1	-
36	497	54; 56	61,7	60,8	61,3	23,1	23	22,6	-
	1380	48	-	-	-	41,7	41,5	40,3	51,5
	1789	52	-	-	-	50,7	50,4	48,9	61,9
	2117	58	-	-	-	57,9	57,7	55,9	60,9
	2493	62; 63; 63,3; 70	69,8	77,7	70,6	65,7	65,3	63,2	-
	2736	60	-	-	-	71,5	71	68,7	61,8
	2804	63	-	-	-	72,7	72,3	69,9	66,8
	2850	63	-	-	-	73,8	73,4	71	65,6
	2931	67; 67,2; 68; 70; 75	72,4	79,8	72,5	75,7	75,3	72,8	-
37	2645	75	-	-	-	94,5	96	88,9	80,4
	2821	88	-	-	-	99,8	101,4	93,8	97,6
	2951	82	-	-	-	103,7	105,4	97,5	85
	3025	96	-	-	-	105,9	107,6	99,6	107,7
	3069	86; 97	120,4	125,7	123,6	107,1	109	100,6	-
	3717	99	-	-	-	120,3	122,3	112,8	104,4
	3998	102; 103; 108	121,2	110,7	122,3	126	128,1	118,1	-
38	1402	48	-	-	-	51,8	51,9	51	50,2
	1601	49	-	-	-	57,4	57,6	56,5	50,4
	2748	75; 78	88,4	91	89,3	87,7	87,9	86,2	-
	3005	81; 82	88,4	86,4	88,9	93,9	94,3	92,3	-
	3303	86	-	-	-	100,1	100,5	98,3	92,4
	3353	90; 93	100,4	96	101,2	101	101,3	99,1	-
39	1453	55	-	-	-	63	63,9	53,7	70,5
	2399	73	-	-	-	91,6	93	77	77,4
	2652	77; 86	97,8	94,3	100,7	96,9	98,5	81,2	-
	3089	81	-	-	-	106,8	108,5	89,1	87,3
	3093	88	-	-	-	106,9	108,6	89,2	90,9

101	799	30	-	-	-	-	-	32,6	31,1
	951	35	-	-	-	-	-	36,2	35,7
	1026	36	-	-	-	-	-	37,9	37,9
40	1676	56	-	-	-	60,4	-	61	62,8
	2000	59; 60; 61; 64	64,1	63,7	64	65,6	-	66,2	-
41	633	65	-	-	-	37,3	37,8	33,5	90,5
	635	65	-	-	-	37,3	37,8	33,5	71,7
	1058	50	-	-	-	47,5	48,1	42,1	54,1
	1502	48; 49; 50	55,5	50,8	56,5	58,8	59,6	51,6	-
	1503	47,5	-	-	-	58,8	59,6	51,6	58,8
	1960	50	-	-	-	70,9	71,9	61,8	54,3
	2445	66	-	-	-	83,5	84,8	72,6	72
	2663	68	-	-	-	90,4	91,7	78,2	73
	2801	71; 73	74	73,6	74	93,9	95,3	81,1	-
111	450	25	-	-	-	27,9	28,4	28,7	25,4
	701	35	-	-	-	34,8	35,6	36	38,2
	799	38; 39	43,7	42,5	44,7	37,3	38,1	38,6	-
42	653	39	-	-	-	34,7	34,8	32,3	44,8
	882	46	-	-	-	40,8	40,9	37,7	62,2
	1028	49	-	-	-	44,8	44,9	41,2	63
	1297	53	-	-	-	52,1	52,1	47,7	68,3
	1509	54	-	-	-	57,7	57,8	52,7	69,1
	1671	56	-	-	-	61,6	61,7	56,1	67,4
	1808	58; 60	64,1	60,2	62,9	64,9	65,1	59,1	-
	1927	59	-	-	-	67,9	68	61,7	64,8
	2147	58,5	-	-	-	73,3	73,2	66,4	64
	2316	62	-	-	-	77,5	77,6	70,1	67,3
	2552	65	-	-	-	83,4	83,4	74,3	70,5
	2757	68	-	-	-	88,5	88,6	79,9	73,2
	3083	71	-	-	-	96,9	97	87,2	76,4
	3155	73	-	-	-	98,6	98,8	88,7	75,4
	3201	71	-	-	-	99,9	100,1	89,8	75,9
43	750	38	-	-	-	36	35,9	36	47,9
	1805	71	-	-	-	70,3	70,1	70,3	78,1
	2120	77	-	-	-	80,7	80,4	80,7	84,7
	3055	89	-	-	-	107	106,5	107	95,9
	3728	125	-	-	-	126,3	125,8	126,5	129,7
	3800	126	-	-	-	128,4	127,8	128,4	130,6
	3860	122; 126	128,7	128,4	128,4	129,9	129,3	130	-
44	1061	44	-	-	-	45,1	45,5	45,9	49,9
	2996	83; 90	94	91	94,5	99,4	101	101,7	-
102	1299	57	-	-	-	-	-	57,8	61,1
	1698	66	-	-	-	-	-	72	69,5
45	1700	70; 64	79,8	86,4	80,9	84,1	81,9	-	-
46	998	36; 37; 38	38,6	39,2	38,4	41,8	41,5	-	-
103	2440	66	-	-	-	-	-	74,9	76,3
	3166	86	-	-	-	-	-	90,6	91,2
	3941	98	-	-	-	-	-	104,9	103,7
47	302	28	-	-	-	22	21,9	21,4	31,3

	849	38; 39	39,8	40,3	39,6	39,7	39,5	38,2	-
	1400	50	-	-	-	57,3	57	54,8	52,4
	1500	54; 55	57,9	59,4	57,6	60,3	59,9	57,6	-
48	1499	46; 47; 48	48,8	48,6	48,8	49,7	49,8	-	-
49	326	36	-	-	-	20,1	20,1	20,1	40,7
	1698	50; 52	52,8	52,6	52,8	53,7	53,8	53,7	-
50	1665	49; 50	51,1	52,2	50,8	52,5	52,1	-	-
51	1500	51; 52	52,3	52,2	52,3	53,2	53,3	-	-
52	320	25	-	-	-	20,7	20,8	20,9	25,5
	1561	45; 47; 48	51,4	50,7	51,6	54,8	54,9	55,4	-
53	1225	46	-	-	-	56,1	57,2	55,2	47,9
	1525	54; 55	59,4	56,5	60,1	66,6	67,9	65,3	-
	1712	54; 61; 62	81,4	79,3	86,8	72	73,4	70,6	-
104	949	25	-	-	-	-	-	25,6	25,2
54	1366	55; 56	56,9	57,1	56,7	57,9	57,8	-	-
55	1901	59	-	-	-	89,3	-	68,5	68,4
	1997	40	-	-	-	93,1	-	71,2	41,7
	3534	100	-	-	-	146,9	-	109,6	105,5
	3726	84	-	-	-	152,4	-	113,5	88,2
	3759	110	-	-	-	153,5	-	114,2	116,2
56	3869	112	-	-	-	156,3	-	116,1	115,8
	999	44; 46; 47	50,1	47,8	49,8	50	50,1	-	-
105	1036	43	-	-	-	-	-	39,7	45,8
	1047	43	-	-	-	-	-	40	54,8
	1822	61	-	-	-	-	-	60,4	64,2
	2552	70	-	-	-	-	-	77,9	72,9
57	573	33	-	-	-	34,4	34,4	34,6	34,4
	1179	51; 52; 53	54,7	55,2	54,8	55,9	55,9	56,3	-
58	1199	47; 49; 50; 51	53,4	53,3	53,1	54,3	54,3	-	-
59	1199	46; 47	47,8	48,1	47,7	48,9	48,9	-	-
60	405	30	-	-	-	29,3	29,6	28,4	34,7
	1779	71	-	-	-	86,6	88,3	82,9	77,5
	1779	80; 88	89,8	95	96,7	86,6	88,3	82,9	-
61	1206	36	-	-	-	32,2	32,3	32,4	38,3
	2367	51; 52	52,7	54	53,3	54,1	54,3	54,5	-
	2483	52; 53; 53,5	53,7	55,3	56,1	56,1	56,4	56,6	-
	2698	57	-	-	-	60	60,3	60,5	60,8
62	1480	72; 75; 76	77,8	77,8	-	54	56,3	57	-
	2925	88; 90	96,2	96,5	96,4	90,5	94,9	96,3	-
	3295	94	-	-	-	98,2	103,1	104,6	140,4
	3379	92; 93; 98	97,8	104,6	99,5	99,7	104,6	106,2	-
	4467	114	-	-	-	122	128,1	130,2	130,7
	4857	120; 121; 148,3	163,4	210,5	124,2	129,9	136,6	138,8	-
	4860	118; 120	133,2	131,7	133,2	129,9	136,7	138,9	-
	4979	134	-	-	-	132,3	139,2	141,5	138,4
	5091	132; 133	136,3	135,7	136,2	134,6	141,7	144	-
	5242	138; 140	143,9	143	143,7	137,9	145,2	147,6	-

	6014	161; 162	165,4	162	165,4	154,5	162,8	165,5	-
63	2297	60	-	-	-	79,2	79,6	81,4	89,9
	2399	76	-	-	-	81,5	81,9	83,8	113,1
	2417	60; 62,7	67,9	65	68,6	81,9	82,4	84,3	-
	2934	86	-	-	-	94,6	95,1	97,4	102,9
	3031	89	-	-	-	96,9	97,4	99,7	107
	3474	90	-	-	-	105,8	106,4	108,9	102,5
	3478	98	-	-	-	105,9	106,5	109	115,8
	3981	104	-	-	-	115,8	116,5	119,3	119,2
	3985	100	-	-	-	115,9	116,6	119,4	112,6
	4283	118	-	-	-	121,8	122,5	125,6	125,3
	4561	124	-	-	-	125,5	128,2	131,4	131,7
	4621	118	-	-	-	128,7	129,4	132,7	124,3
	4989	121; 135	206,5	191,6	205,4	136,4	137,2	140,7	-
64	400	43	-	-	-	27,1	27,8	23,8	45,4
	400	48,5	-	-	-	27,1	27,8	23,8	53,7
	1400	50	-	-	-	66,8	69,4	54,8	65,8
	1827	65	-	-	-	84,3	87,8	68,4	72,3
	2291	80	-	-	-	102,1	106,4	82,1	88,9
	2639	83	-	-	-	114,5	119,5	91,6	91,4
	2879	87	-	-	-	123,7	129,1	98,6	95,1
	3202	91	-	-	-	134,5	140,5	106,9	97,9
	3270	93; 103	143,6	127,6	153,9	136,6	142,8	108,5	-
65	1185	50	-	-	-	51,8	52,1	52,6	55,2
	1999	65; 68; 71; 73; 75; 76	78,6	76,4	79,5	75,5	75,9	76,7	-
66	938	44	-	-	-	46,9	46,8	47	47,7
	939	44; 45; 47	49,4	48,8	48,2	47	46,9	47,1	-
	1026	44; 46	47,8	47,9	47,8	49,4	49,2	49,4	-
67	1395	51	-	-	-	58,2	58,4	57,4	62,2
	2037	50	-	-	-	79,6	79,9	78,3	55,4
	2749	84; 88	99,1	99,7	100,4	100,4	100,7	98,7	-
	2830	93	-	-	-	103	103,3	101,2	100,9
	3406	112	-	-	-	120,6	121	118,3	116,8
	3611	119	-	-	-	125,5	126	123,3	122,6
68	1584	55	-	-	-	61,9	62	61,7	68,4
	1933	65	-	-	-	73,3	73,4	73,2	79,5
	2384	71	-	-	-	84,7	84,8	84,5	86,6
	2501	74; 76	78,7	79	78,9	87,7	87,8	87,4	-
	2822	86	-	-	-	96	96,1	95,7	93,7
	3026	92	-	-	-	101,4	101,5	101,1	104,5
	3062	86	-	-	-	102,2	102,3	101,9	93,2
	3099	87	-	-	-	102,9	103	102,6	93,9
	3350	107	-	-	-	107,3	107,4	107	117,8
	3385	106	-	-	-	107,9	108,1	107,6	114,8
	3632	105	-	-	-	112,4	112,5	112	112,8
	3805	105	-	-	-	115,5	115,6	115,1	111,7
	4003	118; 119; 120; 121	119,9	119,6	121,3	119	119,1	118,6	-

106	2330	66	-	-	-	-	-	80,5	77,4
	3040	90	-	-	-	-	-	97,7	96,2
	3505	103	-	-	-	-	-	105,6	109,6
69	1345	55	-	-	-	50,5	50,7	50	68,2
	2810	96	-	-	-	91,5	92	90,9	104,7
	2880	91	-	-	-	93,5	94	93	98,3
	2935	80	-	-	-	95,1	95,7	94,6	88,9
	2998	78; 85,5	95,6	95,5	97,3	96,5	97,1	95,9	-
70	2000	65	-	-	-	65,4	66	68,6	97,7
	3526	92	-	-	-	97,5	98,5	102,8	109,1
	3631	92; 101	107,7	104,7	107,9	99,6	100,7	105	-
	4310	119	-	-	-	113,4	114,6	119,7	127
	4753	126	-	-	-	122,5	123,9	129,5	130,2
	4927	128	-	-	-	126,7	128	133,9	136,3
	5196	132	-	-	-	133	134,5	140,6	135,4
	5581	143	-	-	-	140,2	141,7	148,3	145,9
	5678	132	-	-	-	141,9	143,4	150,2	138,6
	5811	137; 141	144,2	150,5	144,3	144,5	146,1	152,9	-
71	1212	42; 45; 48; 49; 50	52,5	51,1	53,7	52,7	53,3	-	-
73	1299	48; 49	52,5	54	52,5	54,2	54	-	-
72	1699	60; 61	63,2	64,1	63,1	64,6	64,5	-	-
74	2270	65	-	-	-	77,4	-	73,5	70,7
	2380	67	-	-	-	79,3	-	75,3	71,1
	2453	69	-	-	-	80,5	-	76,4	73,3
75	1100	38; 39; 40; (30)	44,4	59	42,3	46,3	46,4	44,1	-
	2289	65	-	-	-	80	80,2	75,6	70,4
	2291	34	-	-	-	80,1	80,2	75,6	35,4
	2417,5	33	-	-	-	30,2	38,2	36,1	34,3
	2489	30; 35; 37	39,9	38,5	37,7	30,5	38,7	36,6	-
76	474	16,5; 17	17,3	17,1	17,2	18,2	18,4	18,3	-
	2205	48; 52	52,7	52,3	57,1	53,9	55,2	54,5	-
	2358	56	-	-	-	57,4	58,8	58	56,6
77	1494	38	-	-	-	61,8	-	46,4	45,5
	1495	46	-	-	-	61,8	-	46,4	52,5
	1529	40	-	-	-	62,6	-	47	43,9
	2295	56	-	-	-	78,7	-	57,9	60,3
	2395	56	-	-	-	80,9	-	59,4	57,7
	2470	56	-	-	-	82,9	-	60,7	63,3
	2473	50	-	-	-	82,9	-	60,7	52,6
78	156	34	-	-	-	17,8	17,8	17,8	38,4
	799	39; 40	40,8	40,7	40,8	41,7	41,8	41,9	-
	950	40	-	-	-	45,8	45,8	46	45,2
79	998	42; 43	43,4	43,3	43,3	44,4	44,3	-	-
80	1199	40; 41; 42; 44	44,8	45,4	45	46	46,1	-	-
81	604	41; 42	42,6	43,6	42,8	31,8	31,8	32,4	-
	1007	49	-	-	-	45,5	45,4	46,4	54,7
	1952	72	-	-	-	75,7	75,6	77,4	79,6

	2202	72; 73; 74; 75	75,7	75,5	75,4	82,8	82,7	84,8	-
82	948	39; 40	40,7	41,1	40,7	41,9	41,8	-	-
83	1073	45; 47	50,4	51,4	50,9	51,8	51,8	-	-
84	1285	45; 46	46,5	46,7	46,5	50,3	50,3	-	-
	2225	68; 69	69,8	70,4	69,8	76,9	76,9	-	-
	2765	78; 80; 87	89,7	90,5	90,2	90,3	90,2	-	-
89	153	30	-	-	-	17,7	17,7	-	33,5
	1199	44; 48	54,7	54,3	55,3	55,5	55,8	-	-
85	154	30	-	-	-	17,5	17,5	-	33,9
	1200	44; 47	53,8	59,6	54,7	57,7	57	-	-
86	1202	43; 46; 48	50,1	50,8	50,3	51,8	51,9	-	-
	1700	60; 61; 64; 65	69	69,5	69,7	68,1	68,2	-	-
87	1237	45; 46; 47	48	48,1	48	48,8	48,8	-	-
88	1001	42	-	-	-	45,3	45,2	45	43,9
	1299	49; 50; 51	52,9	54	52,9	54,4	54,3	54,1	-
90	1706	60; 61; 63,5	65,3	63,8	65,3	66,8	-	-	-
	4020	102	-	-	-	131,4	-	-	116,7
	4106	130	-	-	-	133,7	-	-	136,7
	4109	103; 104; 106; 118	114	112,6	114	133,8	-	-	-
	4354	108	-	-	-	140,5	-	-	115,2
	5070	136	-	-	-	157	-	-	141,3
	5100	146	-	-	-	157,7	-	-	154,8
	5107	144	-	-	-	157,8	-	-	152,6
	5367	145; 150	162,1	157,6	162,9	163,7	-	-	-
	5368	150; 152	159,1	153,7	159,4	163,7	-	-	-
	5486	148	-	-	-	166,2	-	-	156,7
	5539	148	-	-	-	167,5	-	-	153,5
	5691	155	-	-	-	170,8	-	-	163,6
	5705	155; 160	162,1	168,4	162	171,1	-	-	-
	5706	162	-	-	-	171,1	-	-	162,2
	5827	158	-	-	-	173,7	-	-	166,7
	5827	163	-	-	-	173,7	-	-	172,1
	5857	160; 162	170,1	168,3	170	174,4	-	-	-
91	1490	44; 48; 52	52,9	48,5	53,7	47,2	47	45,6	-
	2488	62	-	-	-	72,6	72,2	69,8	64,6
	3157	80	-	-	-	89,9	89,4	86,2	86,2
	3394	83	-	-	-	94,9	94,3	90,9	87,2
	3612	82; 89; 90; 91; 98	97,5	106	97,6	99,4	98,8	95,2	-

Temperatur in 1000 m bis 4000 m u. GOK:

Nr.	Tiefe	Temperatur [°C]			
		grafische Korrektur	Prognose I	Prognose II	Prognose III
1	1000	38,8	-	-	45,8
	1500	52,3	-	-	62,7
	2000	65,8	-	-	79,2
	2500	79,3	-	-	94
	3000	92,7	-	-	105,7
	3500	105,6	-	-	116,1
	4000	118,5	-	-	131
2	1000	46,3	48,2	48,2	39,8
	1500	63,6	66,8	66,8	54,0
	2000	80,8	84,7	84,7	67,6
	2500	98,0	101,1	101,2	80,0
	3000	115,2	116,6	116,7	91,6
	3500	132,5	134,0	134,1	104,9
3	1000	41	45,4	45,6	45,3
	1500	55	60,4	60,7	60,2
	2000	67	75,0	75,4	74,7
	2500	80	87,6	88,1	87,3
	3000	96	99,3	99,9	99,0
	3500	116	108,8	109,5	108,4
	4000	137	122,6	123,4	122,2
4	1000	44,0	42,5	42,5	39,8
	1500	60,0	56,6	56,6	52,7
	2000	75,5	70,3	70,2	65,1
	2500	91,0	82,5	82,4	76,2
	3000	104,7	94,5	94,4	87,0
	3500	112,3	108,2	108,2	99,5
5	1000	51,0	47,1	47,1	45,5
	1500	70,4	62,7	62,7	60,4
6	1000	49	44,0	44,1	43,4
	1500	68	59,4	59,5	58,5
	2000	77	74,1	74,2	72,9
	2500	87	86,8	87,0	85,4
	3000	98	101,8	102,0	100,1
	3500	113	116,8	117,0	114,8
92	1000	46,3	-	-	43,6
	1500	63,5	-	-	59,7
	2000	80,2	-	-	73,6
	2500	86,2	-	-	88,5
	3000	95,4	-	-	99,5
	3500	107,3	-	-	114,1
7	1000	18,9	21,9	-	-
	1500	22,8	26,4	-	-
	2000	26,7	31,1	-	-

	2500	30,6	35,6	-	-
	3000	34,5	40,2	-	-
	3500	38,4	44,7	-	-
	4000	42,4	49,4	-	-
8	1000	50,0	43,7	-	-
	1500	56,0	58,5	-	-
	2000	71,9	74,1	-	-
9	1000	39,7	42,5	42,5	41,4
	1500	53,6	58,0	58,0	56,4
	2000	67,6	73,5	73,5	71,4
	2500	81,5	87,0	87,0	84,3
	3000	96,6	100,0	100,0	96,9
	3500	110,7	109,2	109,2	105,7
	4000	121,9	117,8	117,8	114,0
93	1000	34,7	-	-	40,0
	1500	46,0	-	-	54,3
	2000	57,4	-	-	68,6
	2500	68,8	-	-	81,3
	3000	80,2	-	-	93,7
	3500	91,6	-	-	104,2
	4000	105,9	-	-	114,2
10	1000	40,6	41,6	42,3	42,8
	1500	54,9	55,3	56,3	57,0
	2000	69,3	69,1	70,5	71,4
	2500	82,7	81,4	83,1	84,2
	3000	95,5	92,6	94,6	95,8
	3500	108,2	103,2	105,5	106,9
	4000	121,0	112,2	114,7	116,3
11	1000	38,8	39,7	39,7	-
	1500	52,3	53,7	53,7	-
12	1000	48,8	49,4	49,5	-
	1500	67,3	68,6	68,7	-
13	1000	48	46,6	46,7	44,6
	1500	64,5	64,2	64,3	61,1
	2000	80,9	81,9	82,0	77,8
	2500	97,4	99,1	99,3	94,0
	3000	113,8	114,1	114,2	108,0
	3500	130,3	130,6	130,8	123,5
	4000	146,7	147,6	147,8	139,4
14	1000	45,2	46,8	46,7	44,8
	1500	61,8	64,7	64,6	61,7
	2000	78,5	82,5	82,3	78,5
	2500	95,1	100,3	100,2	95,3
	3000	111,7	114,8	114,6	108,8
	3500	128,1	128,9	128,6	122,0
	4000	144,4	145,6	145,3	137,7
94	1000	40,6	-	-	41,9
	1500	54,9	-	-	56,4
	2000	69,2	-	-	71,2

15	1000	42,2	44,2	44,2	44,5
	1500	57,4	59,8	59,7	60,2
	2000	76,2	75,8	75,7	76,3
95	1000	44,5	-	-	42,6
	1500	60,8	-	-	57,5
	2000	77,2	-	-	72,6
	2500	93,5	-	-	87,8
16	1000	40,2	-	-	33,6
	1500	54,4	-	-	43,9
	2000	68,5	-	-	54,4
	2500	82,7	-	-	63,0
	3000	96,9	-	-	73,4
107	-	-	-	-	-
17	1000	50,6	49,7	50,1	-
18	1000	46,9	50,0	50,3	50,6
	1500	64,6	68,0	68,5	68,9
	2000	82,2	86,2	86,8	87,3
	2500	99,9	102,2	102,9	103,5
	3000	117,6	120,3	121,2	121,9
19	1000	46,1	46,9	46,7	47,9
96	1000	-		-	45,8
20	1000	44,5	45,4	45,3	46,1
21	1000	57,6	56,2	56,0	-
108	-	-	-	-	-
109	-	-	-	-	-
110	-	-	-	-	-
22	1000	45,8	45,5	45,8	-
	1500	59,0	62,0	62,4	-
	2000	88,8	78,8	79,3	-
23	1000	45,0	46,0	46,4	-
24	1000	39,1	41,3	41,2	42,4
	1500	52,7	56,0	56,0	57,8
	2000	66,3	70,2	70,1	72,5
	2500	80,0	82,9	82,8	85,8
	3000	93,6	95,6	95,5	99,0
	3500	107,2	108,3	108,2	112,2
97	1000	-	-	-	40,3
	1500	-	-	-	55,4
	2000	-	-	-	69,4
	2500	-	-	-	82,1
	3000	-	-	-	95,4
	3500	-	-	-	104,7
	4000	-	-	-	113,6
25	1000	36,4	40,3	40,0	40,6
	1500	48,7	53,2	52,9	53,8
	2000	61,0	66,5	66,0	67,1
	2500	74,0	77,3	76,7	78,2
	3000	87,5	88,2	87,5	89,2
	3500	101,0	97,5	96,7	98,6

	4000	114,5	109,7	108,8	111,0
98	1000	-	-	-	42,3
	1500	-	-	-	57,7
	2000	-	-	-	72,4
	2500	-	-	-	84,7
	3000	-	-	-	97,0
	3500	-	-	-	107,1
	4000	-	-	-	116,4
99	1000	-	-	-	43,5
	1500	-	-	-	57,1
	2000	-	-	-	71,1
26	1000	50,5	52,7	51,9	-
	1500	69,9	70,5	69,3	-
100	1000	-	-	-	47,6
	1500	-	-	-	65,9
	2000	-	-	-	84,7
	2500	-	-	-	102,9
27	1000	44,5	40,9	41,0	40,1
	1500	55,1	54,1	54,2	52,8
	2000	67,5	66,7	66,8	65,1
	2500	81,8	75,0	75,1	73,1
	3000	100,4	87,6	87,8	85,4
28	1000	38,9	41,0	-	40,8
	1500	52,4	55,6	-	55,3
	2000	65,9	68,3	-	69,7
29	1000	40,0	40,3	-	39,7
	1500	54,0	54,9	-	54,0
	2000	67,7	69,2	-	68,0
30	1000	37,5	38,9	39,0	39,2
	1500	50,4	52,8	52,9	53,2
	2000	63,3	66,5	66,6	67,0
	2500	76,1	79,4	79,5	80,1
	3000	89,0	90,2	90,4	91,0
	3500	101,9	103,3	103,5	104,2
31	1000	37,6	39,9	39,9	39,5
	1500	50,4	54,2	54,2	53,6
	2000	63,2	68,7	68,7	67,9
	2500	76,1	81,1	81,1	80,1
	3000	88,9	91,2	91,2	90,1
	3500	101,8	102,3	102,3	101,0
32	1000	40,7	39,7	39,9	40,0
	1500	55,1	53,8	54,0	54,1
	2000	69,5	67,5	67,8	68,0
	2500	86,3	79,6	79,9	80,2
	3000	92,7	90,8	91,2	91,5
	3500	99,2	102,9	103,4	103,7
33	1000	39,9	42,6	42,8	42,8
	1500	54,0	58,3	58,7	58,7
	2000	68,0	73,6	74,2	74,2

	2500	83,5	87,0	87,7	87,7
	3000	107,1	100,2	101,0	101,0
34	1000	42,1	40,9	41,1	40,7
	1500	57,3	55,6	55,9	55,3
	2000	72,4	70,4	70,8	69,9
	2500	87,8	83,1	83,6	82,5
	3000	95,0	95,2	95,8	94,6
	3500	101,5	105,9	106,6	105,2
	4000	107,9	116,8	117,7	116,0
35	1000	42,0	45,0	44,8	44,5
	1500	56,6	60,2	60,0	59,5
	2000	70,3	75,9	75,6	74,9
	2500	84,0	89,0	88,7	87,8
	3000	99,9	101,0	100,6	99,6
	3500	124,9	115,9	115,4	114,3
36	1000	32,6	33,9	33,8	32,9
	1500	43,0	44,1	43,9	42,7
	2000	53,3	55,5	55,2	53,5
	2500	63,7	65,9	65,6	63,5
	3000	78,7	77,2	76,8	74,26
	3500	98,6	88,1	87,7	84,66
37	1000	43,3	43,4	43,9	41,3
	1500	58,5	59,5	60,3	56,3
	2000	73,3	75,8	77,0	71,6
	2500	88,1	90,8	92,2	85,5
	3000	102,9	105,2	106,9	98,9
	3500	112,1	115,8	117,7	108,7
	4000	116,0	126,2	128,3	118,35
38	1000	37,6	40,3	40,4	39,7
	1500	50,4	54,6	54,7	53,7
	2000	63,2	69,4	69,6	68,2
	2500	76,1	81,8	82,0	80,3
	3000	88,9	93,9	94,2	92,2
	3500	101,8	105,0	105,3	103,0
	4000	114,6	118,3	118,6	116,0
39	1000	43,6	47,0	47,6	40,7
	1500	59,5	64,9	65,8	55,3
	2000	75,3	80,3	81,5	67,8
	2500	91,2	93,7	95,2	78,6
	3000	107,0	104,8	106,5	87,5
	3500	122,9	119,4	121,4	99,4
101	1000	-	-	-	37,4
40	1000	39,2	43,0	43,0	43,4
	1500	53,0	57,2	57,2	57,8
	2000	66,7	65,6	65,6	66,2
41	1000	56,7	46,1	46,7	40,9
	1500	61,5	58,8	59,6	51,6
	2000	66,3	71,8	72,8	62,6
	2500	71,1	85,1	86,4	73,8

	3000	75,9	99,8	101,3	86,1
111	-	-	37,3	-	-
42	1000	46,1	44,0	44,1	40,5
	1500	55,4	57,5	57,6	52,5
	2000	67,7	69,6	69,7	63,2
	2500	83,4	82,0	82,2	74,1
	3000	97,5	94,7	94,8	85,3
	3500	111,5	108,1	108,3	97,1
43	1000	42,2	44,2	44,1	44,2
	1500	57,4	60,4	60,2	60,4
	2000	72,6	77,2	76,9	77,3
	2500	87,7	91,9	91,5	92,0
	3000	102,9	105,5	105,0	105,5
	3500	118,1	119,8	119,3	119,9
	4000	133,2	134,2	133,6	134,2
44	1000	47,5	43,2	43,6	44,0
	1500	65,3	58,8	59,4	60,0
	2000	83,0	73,4	74,2	75,0
	2500	87,5	86,6	87,6	88,5
	3000	92,0	99,6	100,8	102,0
	3500	96,5	114,3	115,6	117,0
102	1000	-	-	-	47,1
	1500	-	-	-	65,5
	2000	-	-	-	82,7
45	1000	53,7	54,3	53,1	-
	1500	74,6	76,4	74,5	-
	2000	95,6	96,8	94,2	-
46	1000	39,1	41,8	41,5	-
103	1000	-	-	-	39,8
	1500	-	-	-	52,7
	2000	-	-	-	65,6
	2500	-	-	-	76,2
	3000	-	-	-	87,0
	3500	-	-	-	96,6
	4000	-	-	-	104,9
47	1000	44,4	44,9	44,7	43,1
	1500	59,0	60,3	59,9	57,6
48	1000	36,6	37,7	38,0	-
	1500	49,0	49,7	49,8	-
49	1000	36,0	37,1	37,1	-
	1500	48,2	49,1	49,2	-
	2000	60,3	61,1	55,8	-
50	1000	35,9	38,3	38,1	-
	1500	48,0	49,6	49,4	-
	2000	60,1	60,9	60,6	-
51	1000	38,6	40,0	40,1	-
	1500	52,0	53,2	53,3	-
52	1000	44,2	39,8	39,8	40,2
	1500	50,7	53,2	53,3	53,9

53	1000	52,2	48,4	49,3	47,6
	1500	72,4	65,8	67,1	64,6
	2000	92,6	82,1	83,9	80,6
104	1000	-	-	-	26,3
54	1000	44,9	47,1	47,0	-
	1500	61,4	62,6	62,4	-
55	1000	51,8	52,8	-	42,0
	1500	-	72,7	-	56,5
	2000	-	93,1	-	71,3
	2500	-	111,5	-	84,5
	3000	-	128,6	-	96,7
	3500	-	145,9	-	108,9
	4000	-	161,1	-	119,6
56	1000	49,0	49,9	50,1	-
105	1000	-	-	-	38,7
	1500	-	-	-	52,2
	2000	-	-	-	64,8
	2500	-	-	-	76,7
	3000	-	-	-	89,1
57	1000	48,5	49,6	49,5	49,9
58	1000	46,2	47,7	47,7	-
59	1000	42,0	43,2	43,1	-
60	1000	49,9	54,4	55,3	52,3
	1500	72,9	75,9	77,3	72,7
	2000	107,8	95,8	97,7	92
61	1000	28,6	28,5	28,6	28,6
	1500	37,6	37,6	37,7	37,8
	2000	46,6	47,3	47,6	47,7
	2500	56,5	56,4	56,7	56,9
	3000	67,9	65,5	65,9	66,0
62	1000	56,5	40,7	42,2	42,7
	1500	78,2	54,6	56,9	57,6
	2000	84,5	68,1	71,1	72,1
	2500	90,7	80,1	83,9	85,1
	3000	96,8	92,4	96,9	98,3
	3500	103,5	101,9	107,0	108,6
	4000	114,0	112,5	118,2	120,1
63	1000	41,2	43,0	43,2	44,0
	1500	55,8	57,2	57,5	58,7
	2000	70,5	71,4	71,8	73,4
	2500	85,1	84,0	84,4	86,3
	3000	99,8	96,2	96,7	99,0
	3500	109,6	106,3	106,9	109,5
	4000	119,5	116,3	116,9	119,8
64	1000	49,7	50,8	52,6	42,3
	1500	68,7	70,7	73,5	57,8
	2000	87,7	91,7	95,5	74,1
	2500	106,7	109,8	114,6	88,1
	3000	125,7	128,3	133,9	102,2

	3500	144,7	145,4	152,0	115,4
65	1000	44,6	45,1	45,3	45,7
	1500	61,1	61,8	62,1	62,7
	2000	77,5	75,5	75,9	76,7
66	1000	47,1	48,8	48,6	48,8
67	1000	43,6	45,0	45,1	44,4
	1500	59,4	61,6	61,8	60,7
	2000	75,3	78,5	78,7	77,2
	2500	91,1	93,5	93,8	91,9
	3000	107,0	108,4	108,7	106,5
	3500	-	122,9	123,3	120,7
	4000	-	137,6	138,1	135,1
68	1000	38,7	44,0	44,0	43,9
	1500	52,1	59,3	59,3	59,1
	2000	65,6	75,1	75,1	74,9
	2500	79,0	87,7	87,8	87,4
	3000	98,4	100,7	100,8	100,4
	3500	112,1	110,0	110,1	109,7
	4000	128,2	119,0	119,1	118,6
106	1000	-	-	-	43,8
	1500	-	-	-	58,2
	2000	-	-	-	72,6
	2500	-	-	-	84,7
	3000	-	-	-	97,0
	3500	-	-	-	105,5
	4000	-	-	-	118,9
69	1000	39,9	40,7	40,9	40,5
	1500	54,0	55,0	55,3	54,7
	2000	68,0	69,9	70,2	69,5
	2500	82,0	82,9	83,3	82,4
	3000	96,1	96,5	97,1	96,0
	3500	110,1	110,6	111,3	110,0
70	1000	37,8	38,9	39,2	40,5
	1500	50,8	52,4	52,9	54,8
	2000	63,9	65,4	66,0	68,6
	2500	76,7	76,8	77,5	80,7
	3000	89,6	88,2	89,0	92,8
	3500	102,6	97,0	98,0	102,3
	4000	112,9	107,1	108,2	113,0
71	1000	45,0	45,8	46,3	-
73	1000	43,5	44,9	44,7	-
	1500	59,4	60,8	62,3	-
72	1000	42,5	43,7	43,6	-
	1500	57,9	58,5	58,4	-
	2000	73,2	73,9	73,8	-
74	1000	39,9	40,7	-	39,0
	1500	54,0	55,5	-	53,0
	2000	67,8	70,5	-	67,1
	2500	81,6	81,7	-	77,6

75	1000	39,2	43,3	43,3	41,2
	1500	55,9	58,6	58,6	55,6
	2000	73,3	72,1	72,2	68,2
	2500	28,8	30,6	38,8	36,7
76	1000	28,4	28,7	29,3	29,0
	1500	39,1	39,7	40,6	40,1
	2000	49,7	49,9	51,1	50,5
	2500	60,4	60,2	61,8	60,9
77	1000	40,2	47,4	-	36,5
	1500	54,5	61,9	-	46,5
	2000	68,8	72,9	-	54,0
	2500	83,1	83,7	-	61,3
78	1000	48,4	47,1	47,1	47,3
79	1000	43,1	44,4	44,3	-
80	1000	39,5	40,9	40,9	-
81	1000	51,2	45,2	45,1	46,1
	1500	61,5	62,1	62,0	63,5
	2000	71,8	77,1	76,9	78,9
	2500	82,2	92,4	92,3	94,7
82	1000	42,6	43,5	43,4	-
83	1000	48,3	49,2	49,2	-
84	1000	39,2	41,7	41,7	-
	1500	53,7	56,8	56,7	-
	2000	69,3	71,0	71,0	-
	2500	88,7	83,7	83,7	-
	3000	109,9	96,9	96,8	-
89	1000	47,8	48,7	48,9	-
85	1000	49,5	50,1	49,5	-
86	1000	44,0	45,7	45,7	-
	1500	61,7	61,4	61,4	-
	2000	80,6	78,0	78,1	-
87	1000	41,0	42,4	42,4	-
88	1000	43,5	45,3	45,2	45,0
	1500	59,4	61,0	60,8	60,6
90	1000	43,0	44,3	-	-
	1500	58,6	60,5	-	-
	2000	70,9	75,5	-	-
	2500	80,9	91,1	-	-
	3000	90,8	104,8	-	-
	3500	100,8	117,5	-	-
	4000	110,8	130,9	-	-
91	1000	37,3	35,1	34,9	34,0
	1500	51,2	47,5	47,3	45,8
	2000	61,6	60,1	59,8	70,0
	2500	72,0	72,9	72,5	82,4
	3000	82,5	86,0	85,5	82,4
	3500	98,1	97,1	96,5	93,0
	4000	115,5	108,9	108,2	104,2

Tabelle mit Temperaturgradient für alle Bohrungen:

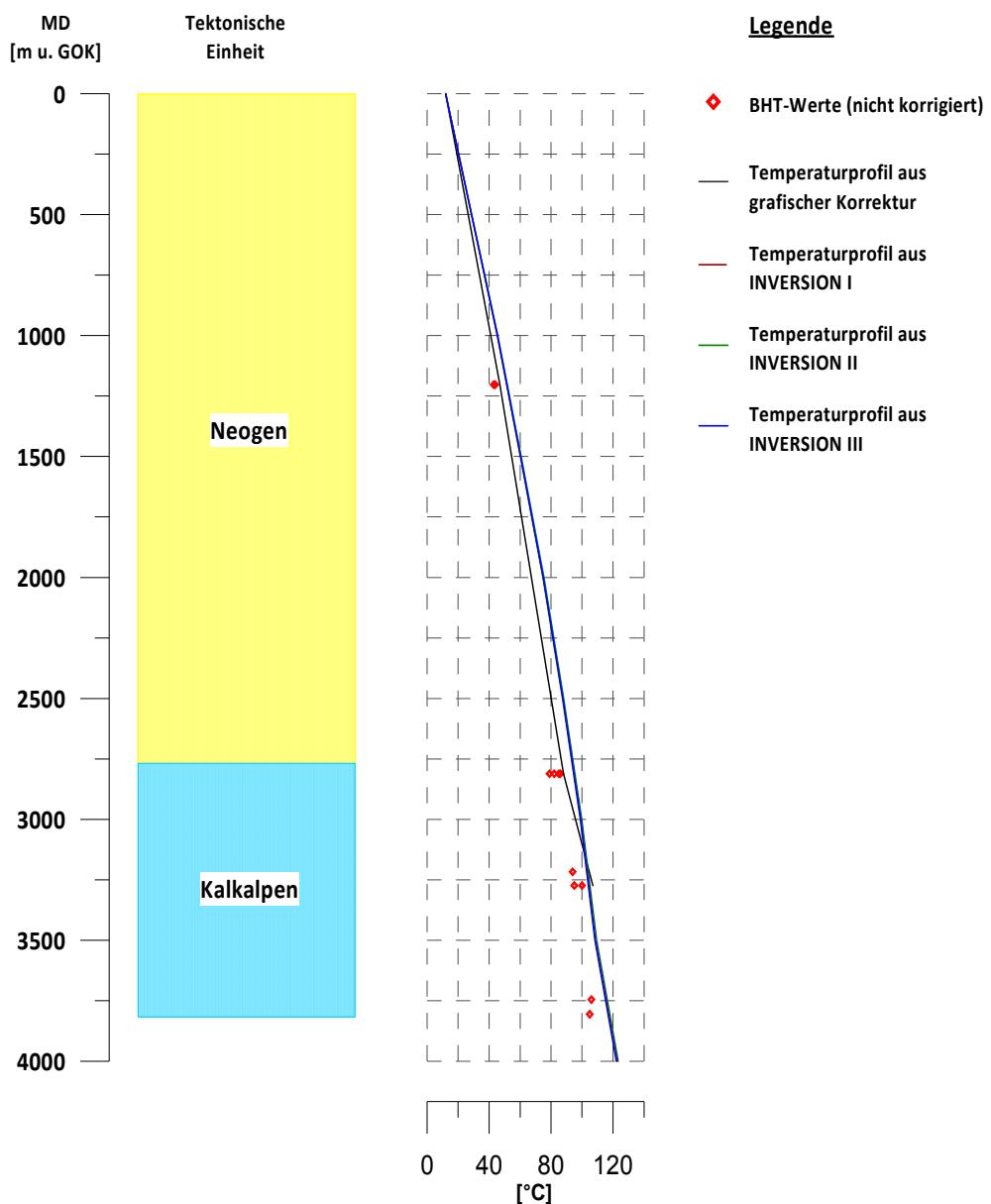
Nr.	graphische Korrektur	Prognose I	Prognose II	Prognose III
	Gradient [°C/km]			
1	26,4	-	-	29,8
2	34,5	34,9	34,9	26,6
3	31,9	27,7	27,9	27,6
4	26,1	27,5	27,5	25,1
5	38,9	33,8	33,8	32,3
6	28,8	30	30	29,4
92	23,4	-	-	29,2
7	14,9	9,8	-	-
8	18,6	31,2	-	-
9	27,1	26,5	26,5	25,5
93	27	-	-	25,6
10	23,4	25,1	26,7	26,1
11	27	27,9	27,9	-
12	37	37,8	37,9	-
13	34,5	33,9	34	31,9
14	33	33,4	33,3	31,5
94	28,6	-	-	29,6
15	40,2	31,9	31,9	32,2
95	32,7	-	-	30,4
16	28,3	-	-	20,5
107	34,1	-	-	30,9
17	42,1	38,2	38,5	-
18	35,3	36,2	36,5	36,8
19	33,9	35	34,8	36
96	32,1	-	-	33,7
20	32,6	33,3	33,2	34
21	45,9	42,6	42,4	-
108	68,8	54,9	54,4	58,7
109	37,3	34,2	34,2	27,5
110	54,3	55,6	59,6	-
22	40,7	33,5	33,8	-
23	33,3	34,2	34,7	-
24	27,3	27,6	27,5	28,7
97	-	-	-	24
25	25,8	24,5	24,2	24,8
98	-	-	-	24,6
99	-	-	-	29,7
26	38,7	39	38,2	-
100	-	-	-	35,6
27	27,1	25,3	25,1	24,3
28	27	-	-	28
29	27,9	-	-	28,2
30	25,7	26,1	26,2	26,4
31	25,7	25,9	25,9	25,5

32	33,1	26	26,2	26,2
33	37,7	29,5	29,7	27,1
34	26	26,2	26,4	26
35	35,9	29,7	29,6	29,3
36	30,3	21,8	21,7	20,8
37	23	28,6	29,1	26,6
38	25,7	26,6	26,7	26
39	31,7	30,7	31,3	25
101	-	-	-	25,6
40	27,4	26,9	26,9	27,2
41	37,6	29,4	29,9	24,8
111	39,1	31,8	32,9	37,7
42	29,6	28	27,6	24,4
43	30,3	30,6	30,4	30,6
44	22,3	29,3	29,7	30
102	-	-	-	35,4
45	41,9	42,5	41,2	-
46	27,3	30	29,7	-
103	-	-	-	23,6
47	36,8	32,3	32,1	30,5
48	24,9	25,3	25,4	-
49	24,3	24,7	22	-
50	24,2	24,6	24,4	-
51	26,8	27,6	27,7	-
52	18,7	27,6	27,6	28
53	40,4	35,2	36	34,4
104	-	-	-	14,6
54	33,1	33,9	33,8	-
55	39,9	37,3	-	26,9
56	37,1	37,9	38,2	-
105	-	-	-	25,7
57	36,5	37,3	37,3	37,6
58	34,3	35,3	35,3	-
59	30,1	30,8	30,8	-
60	53,8	41,9	42,8	-
61	20,4	18,3	18,4	18,5
62	25,1	23,7	25,1	25,6
63	23,3	24,9	25,1	25,8
64	38	38,2	40,1	29,6
65	32,9	31,9	32,1	32,5
66	35,3	36,8	36,6	36,8
67	31,7	31,4	31,5	30,8
68	30,2	27	26,8	26,7
106	-	-	-	26,8
69	28,1	28,2	28,4	28
70	22,4	22,8	23,1	24,3
71	33,2	33,8	34,3	-
73	31,8	32,7	41,5	-
72	30,7	31,1	31	-

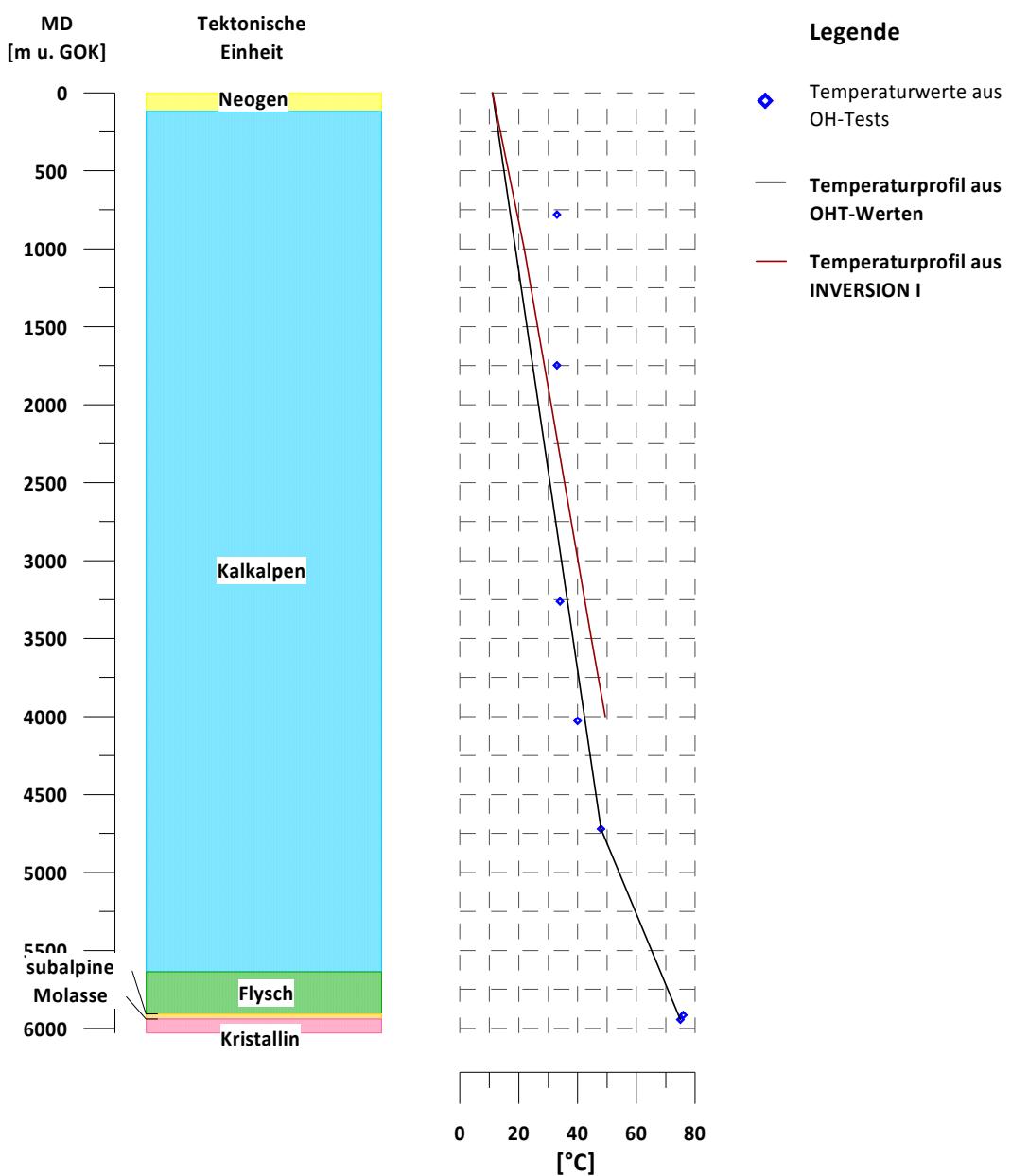
74	27,8	28	-	26,3
76	18,5	20,2	20,8	20,5
75	34,8	30	30	28
77	28,6	28,9	-	19,9
78	36,7	35,4	35,4	35,5
79	31,3	32,6	32,5	-
80	27,8	28,7	28,7	-
81	36,2	32,3	32,2	33,1
82	30,8	31,7	31,6	-
83	36,6	37,3	37,3	-
84	33,6	28,4	28,3	-
89	36,1	36,4	36,7	-
85	37,7	38,3	37,7	-
86	35	33,1	33,2	-
87	29,4	30,2	30,2	-
88	31,8	32,8	32,7	32,6
90	26,7	27,7	27,7	32,9
91	26,2	24,3	24,1	23,1

Temperaturprofile für einige Bohrungen aus dem Untersuchungsgebiet:

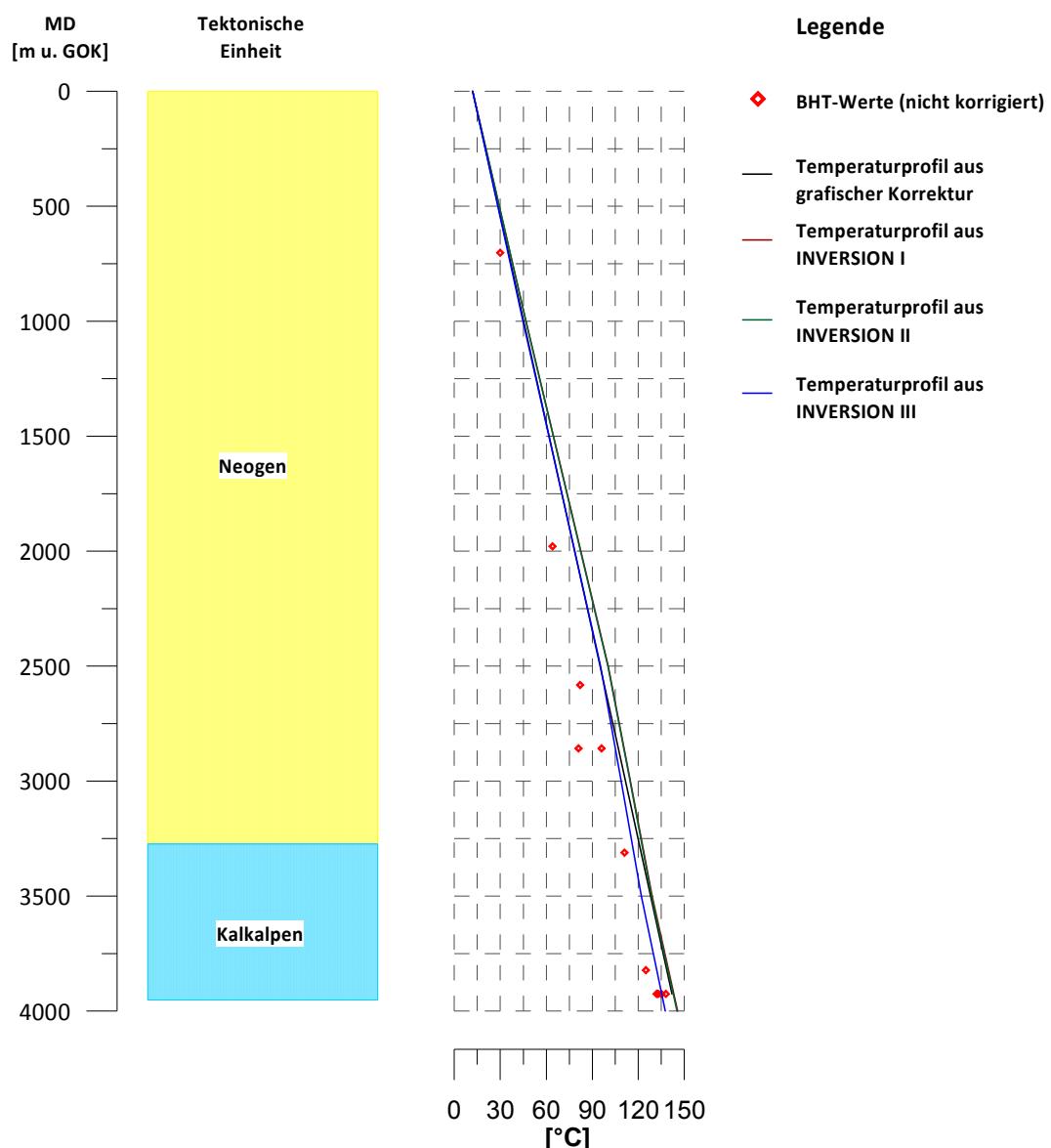
Bohrung 003



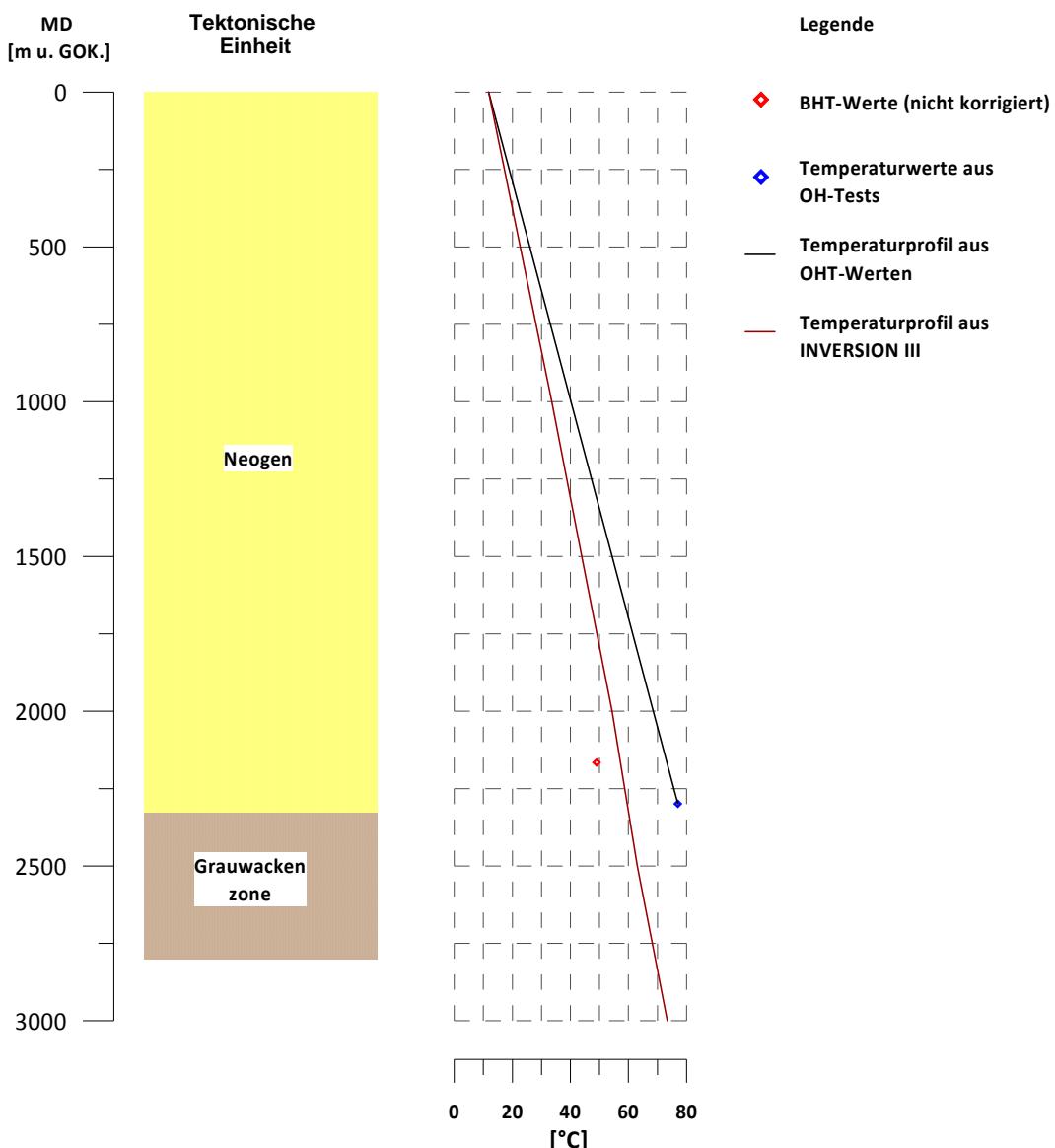
Bohrung 007



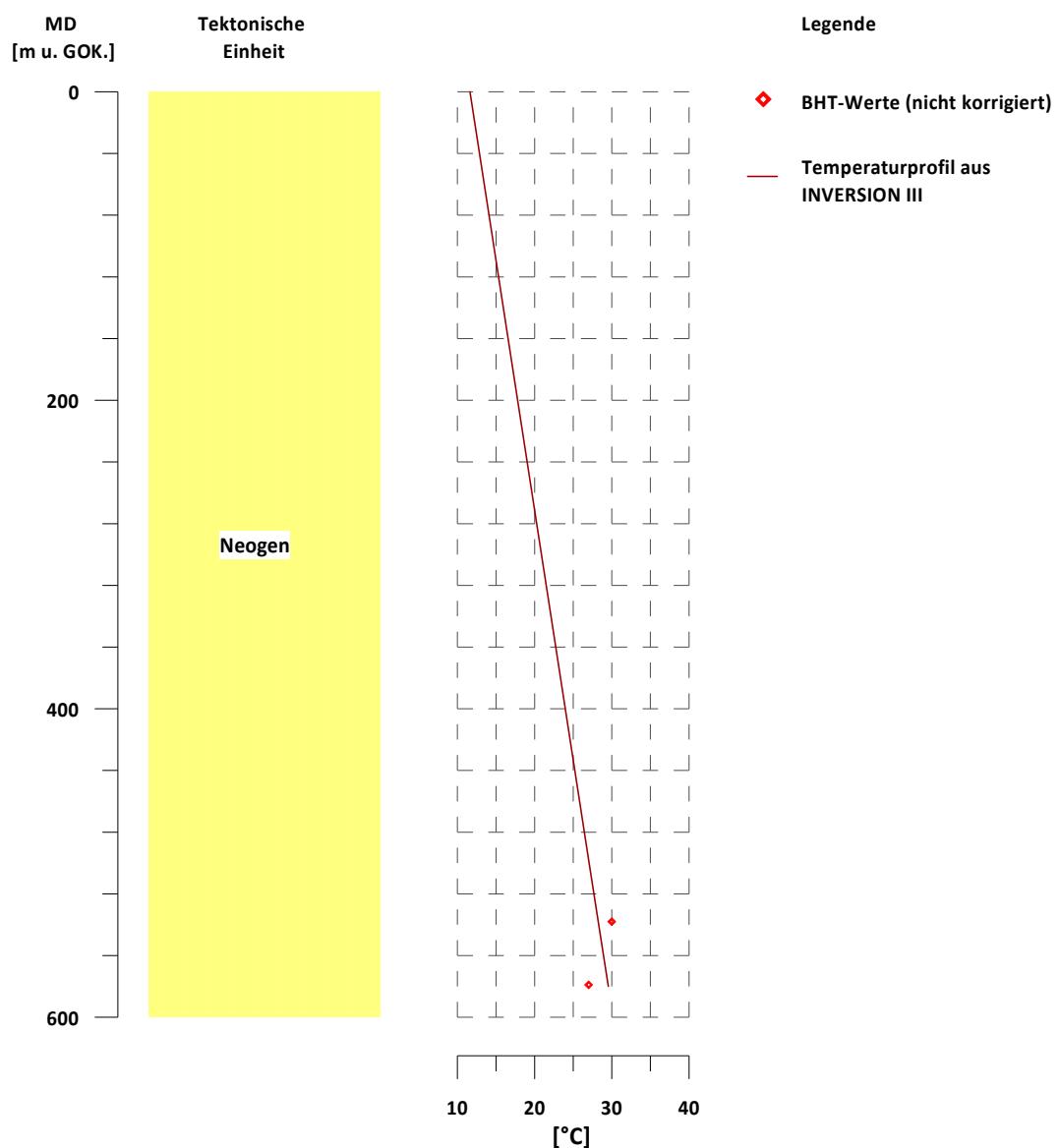
Bohrung 014



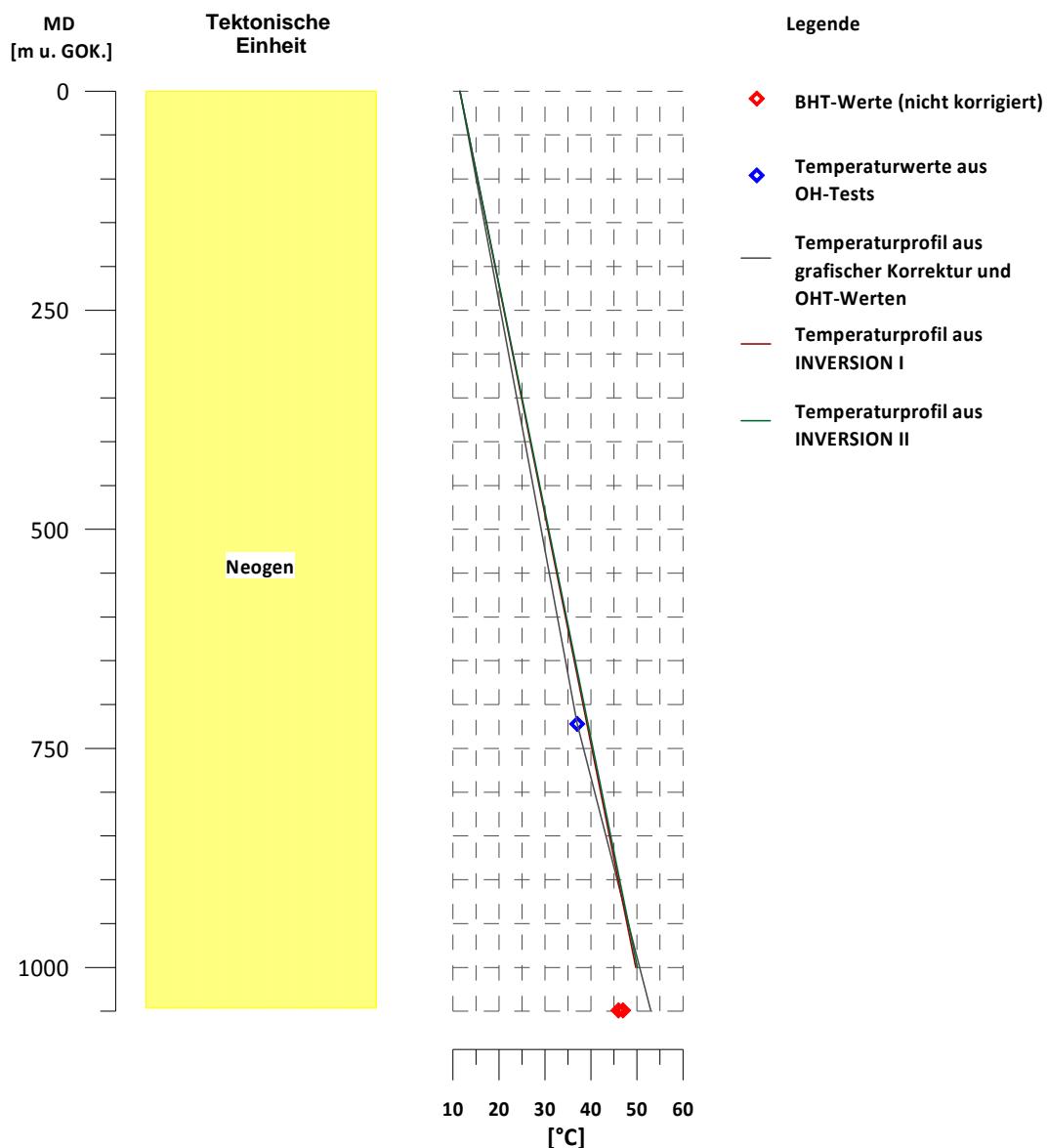
Bohrung 016



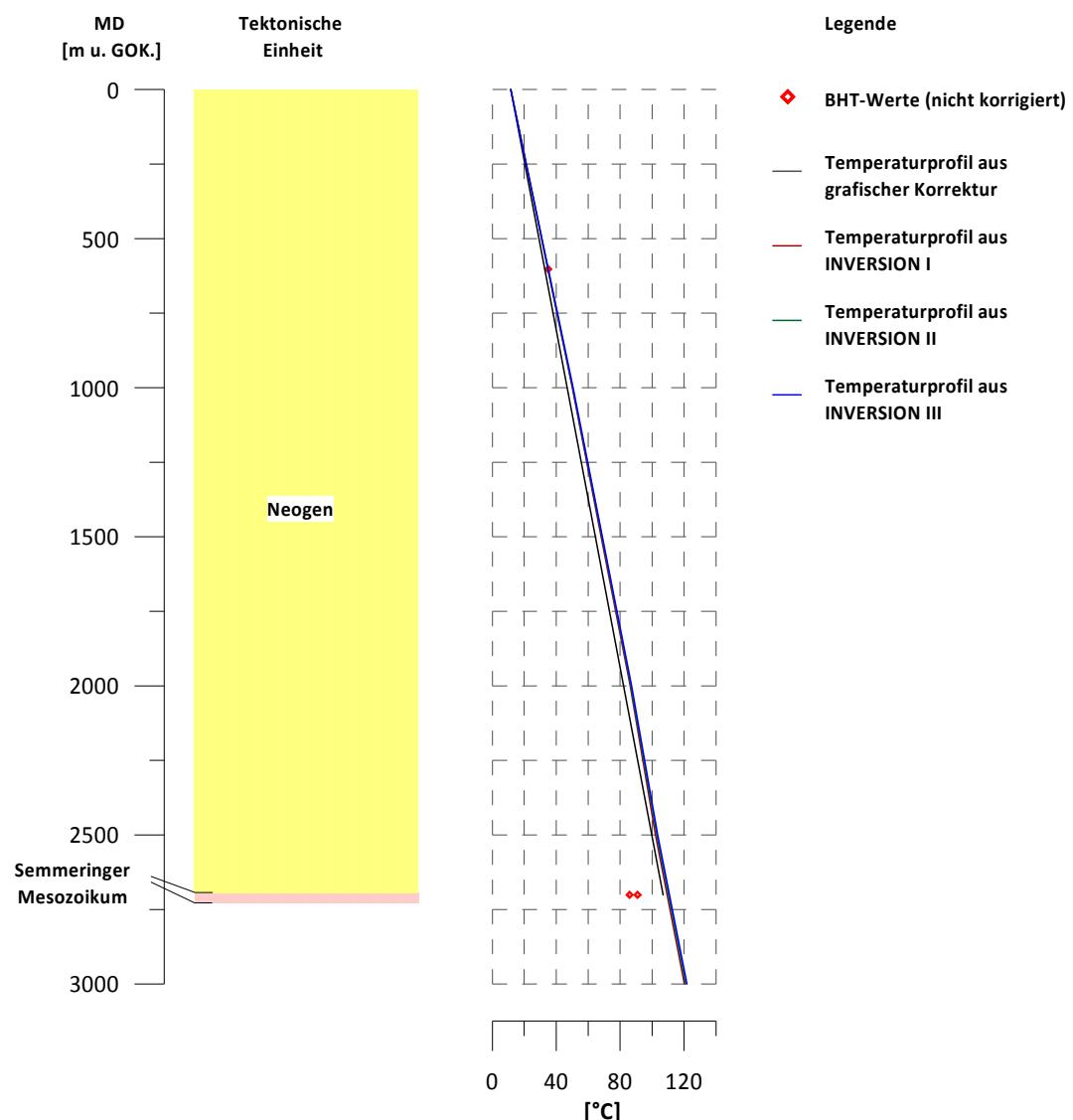
Bohrung 107



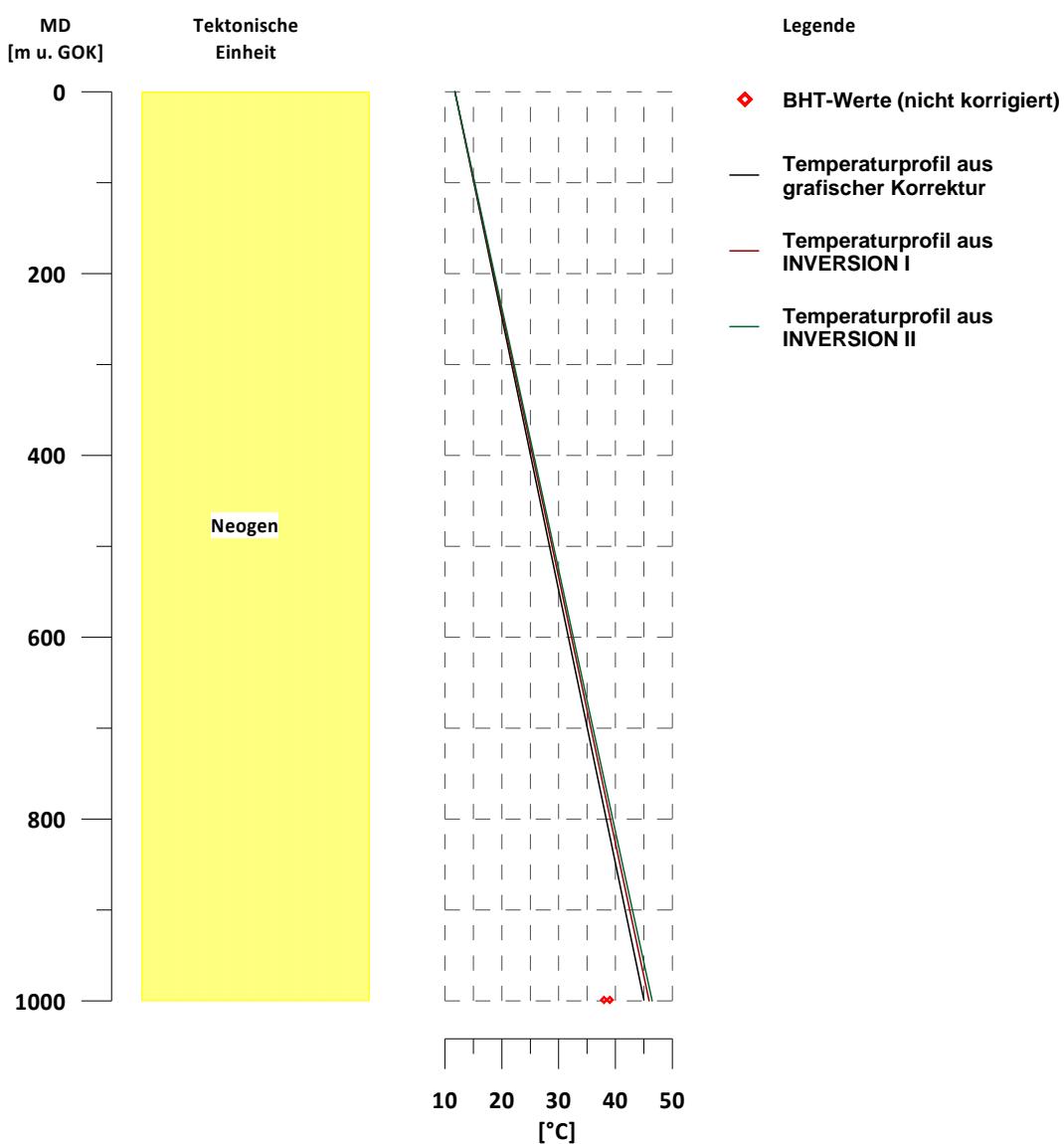
Bohrung 017



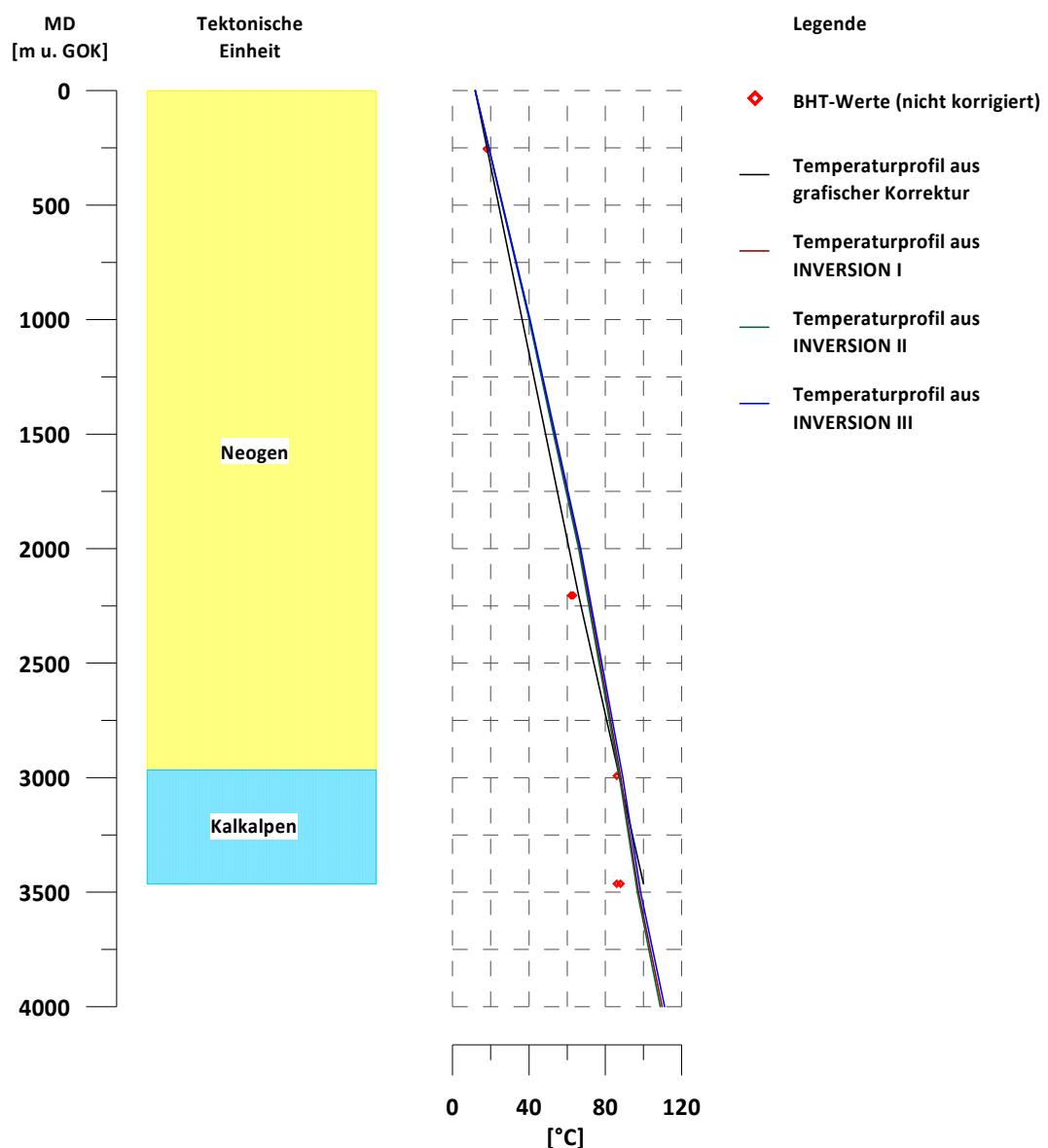
Bohrung 018



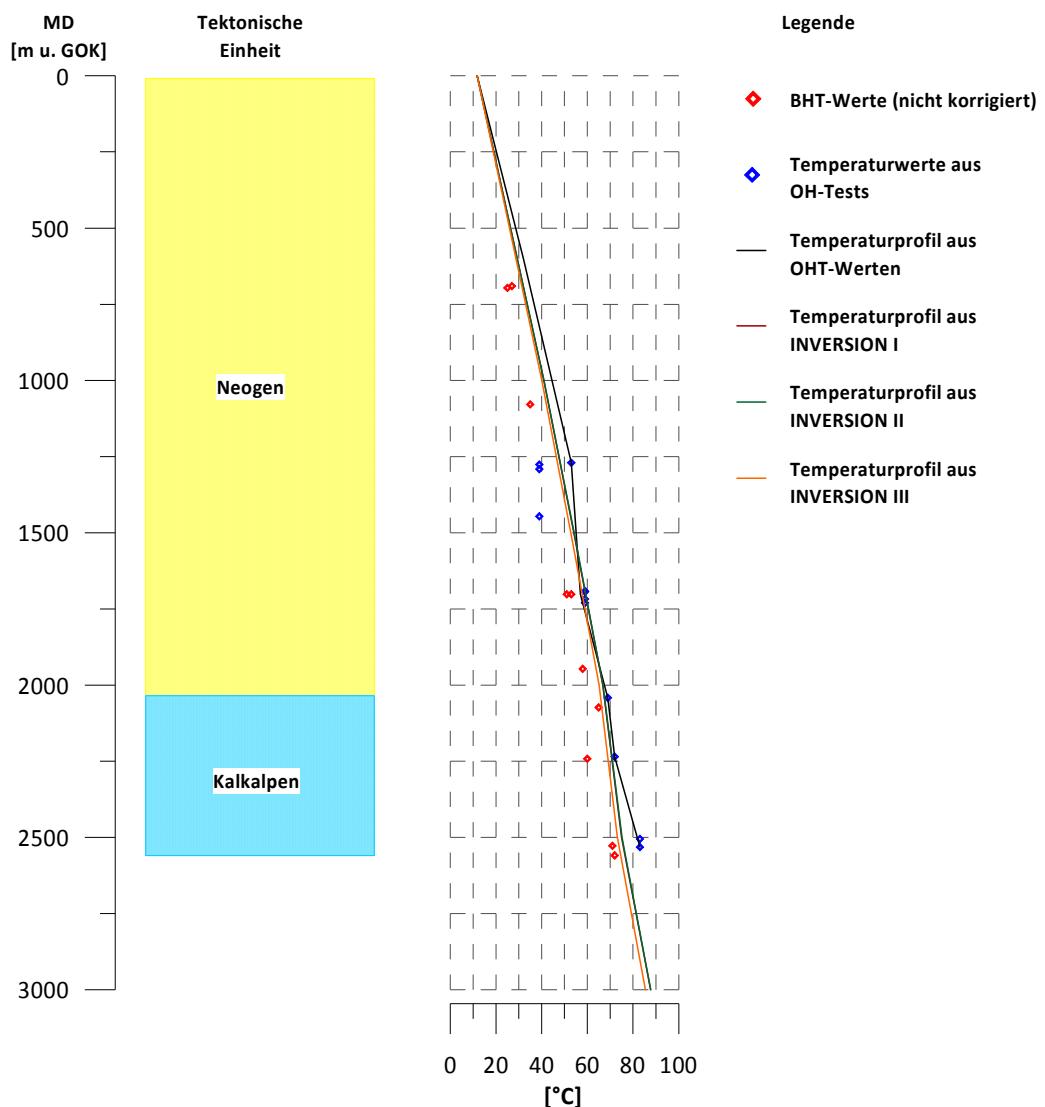
Bohrung 023



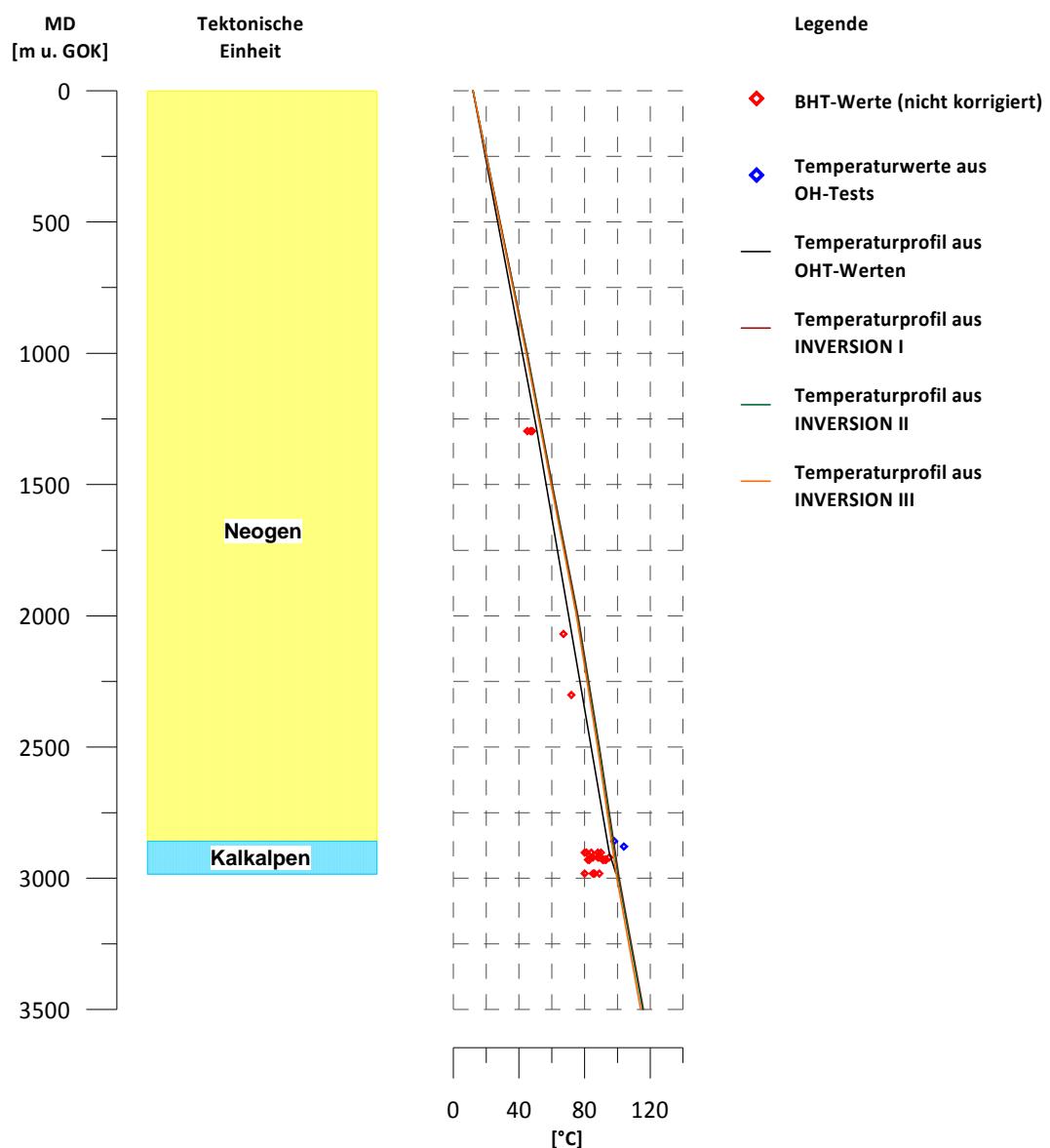
Bohrung 025

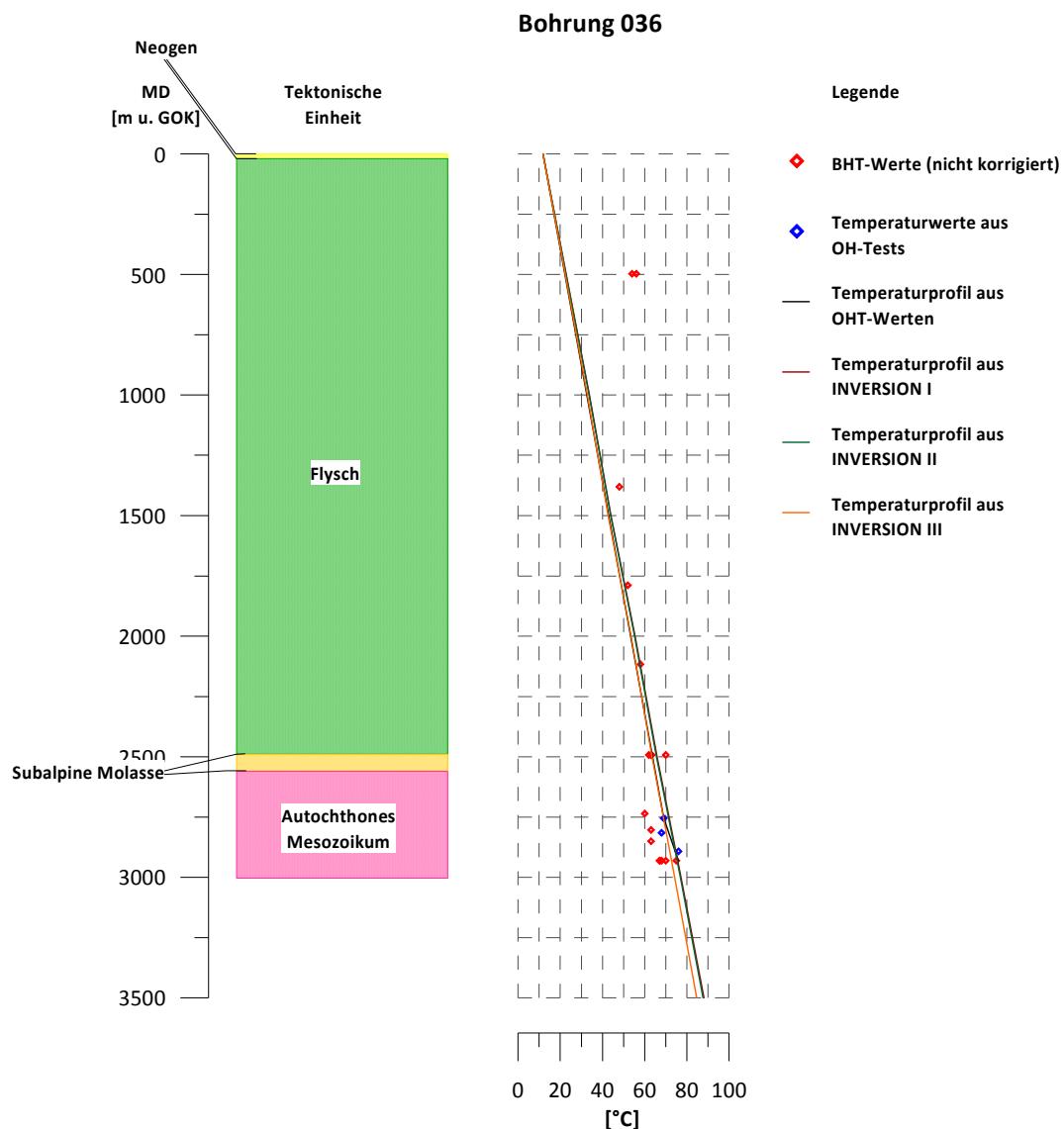


Bohrung 027

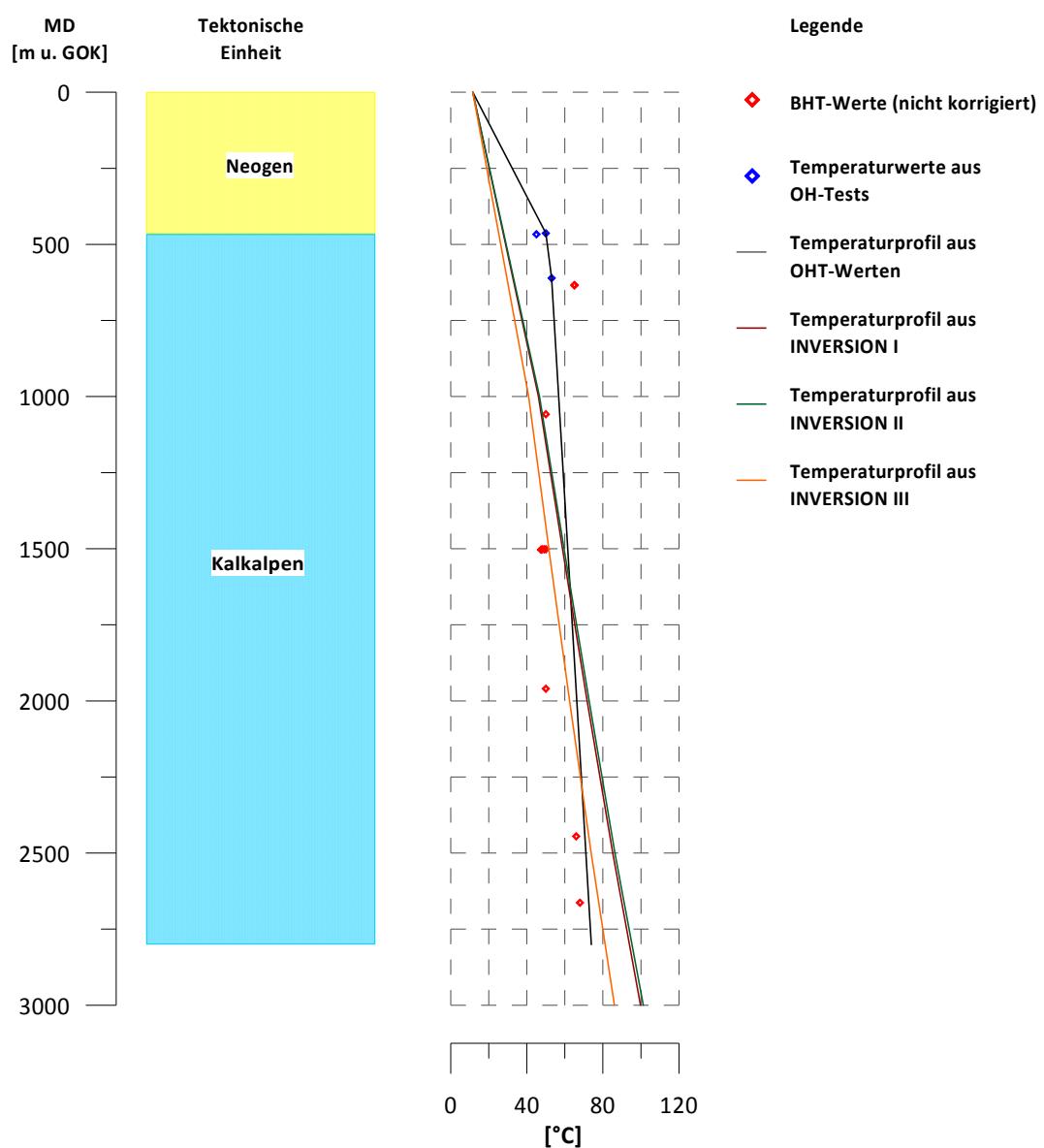


Bohrung 035

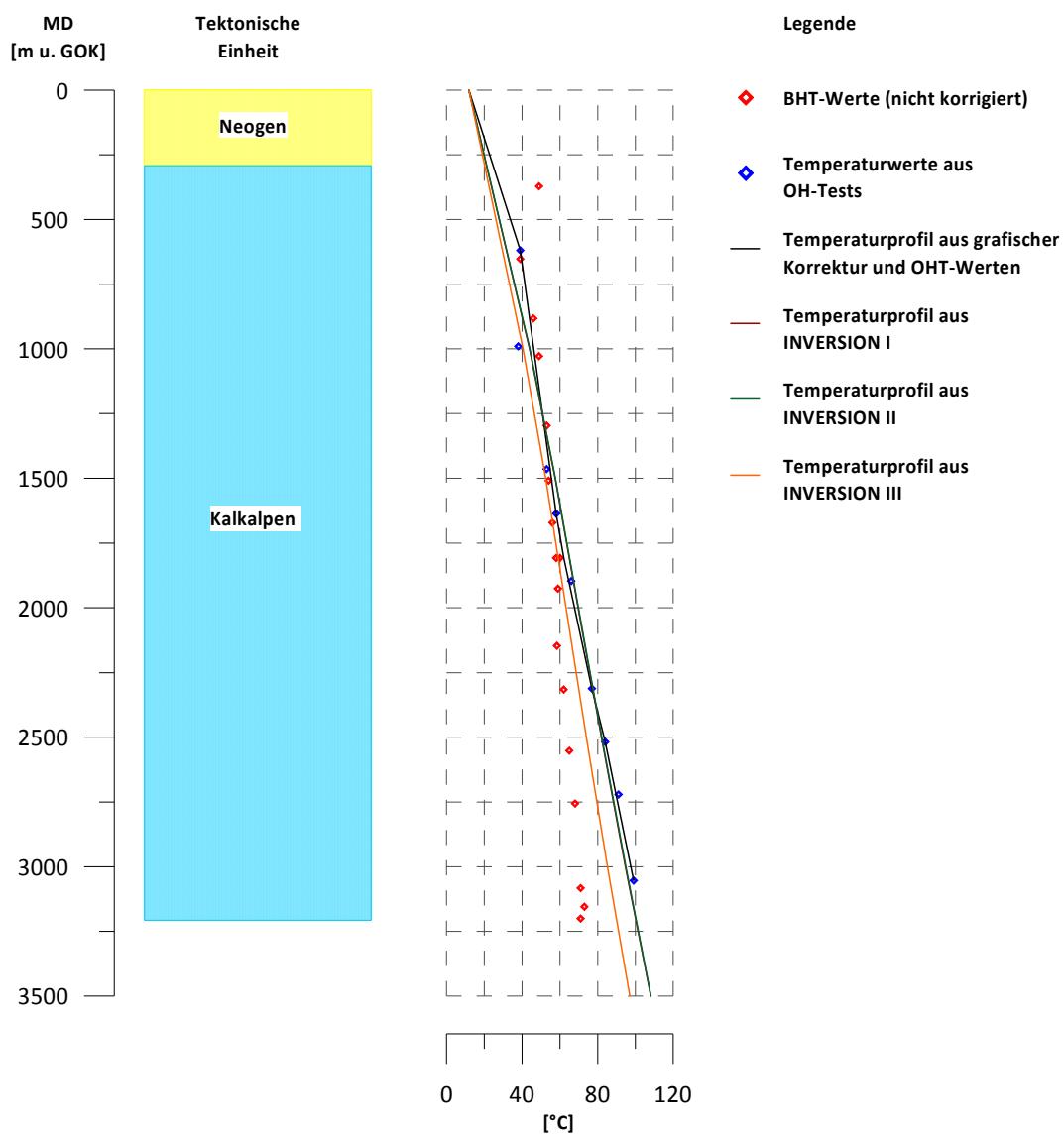




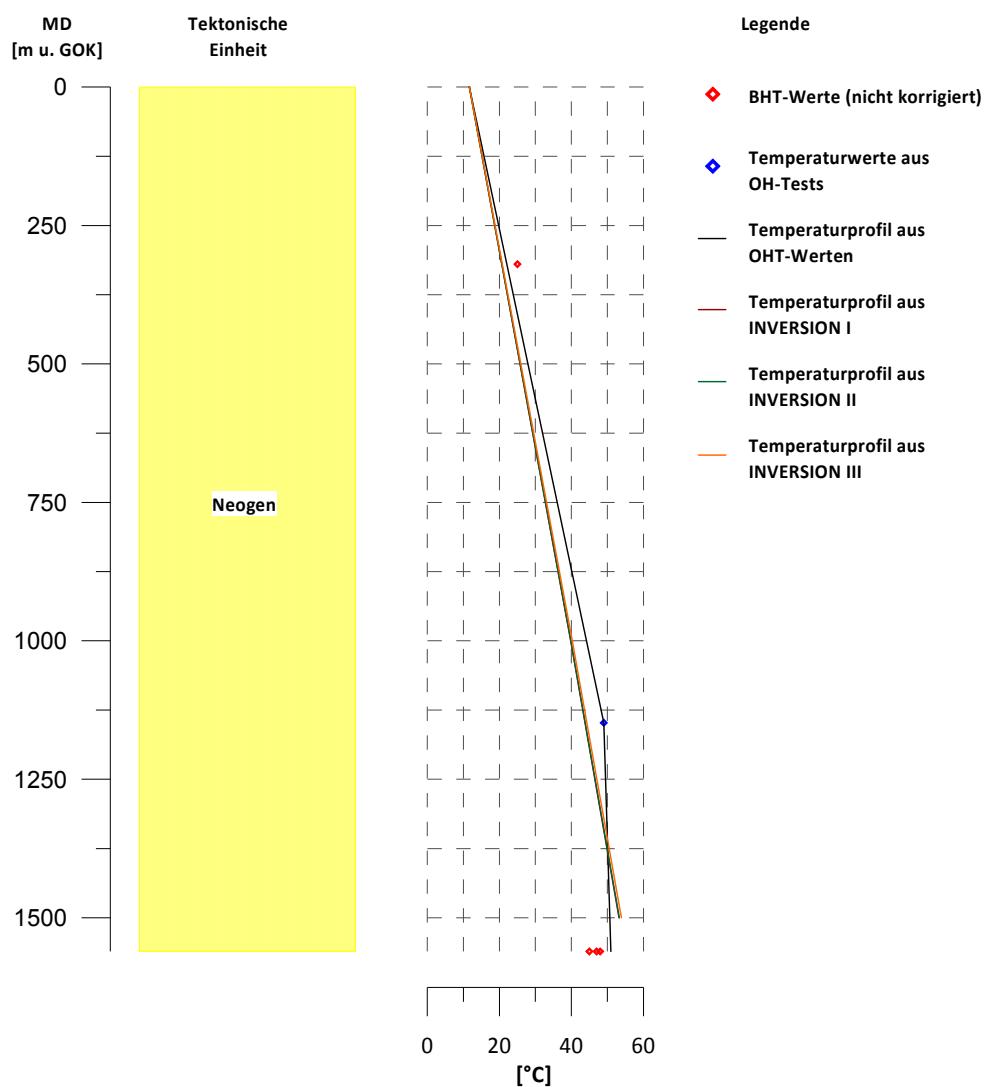
Bohrung 041



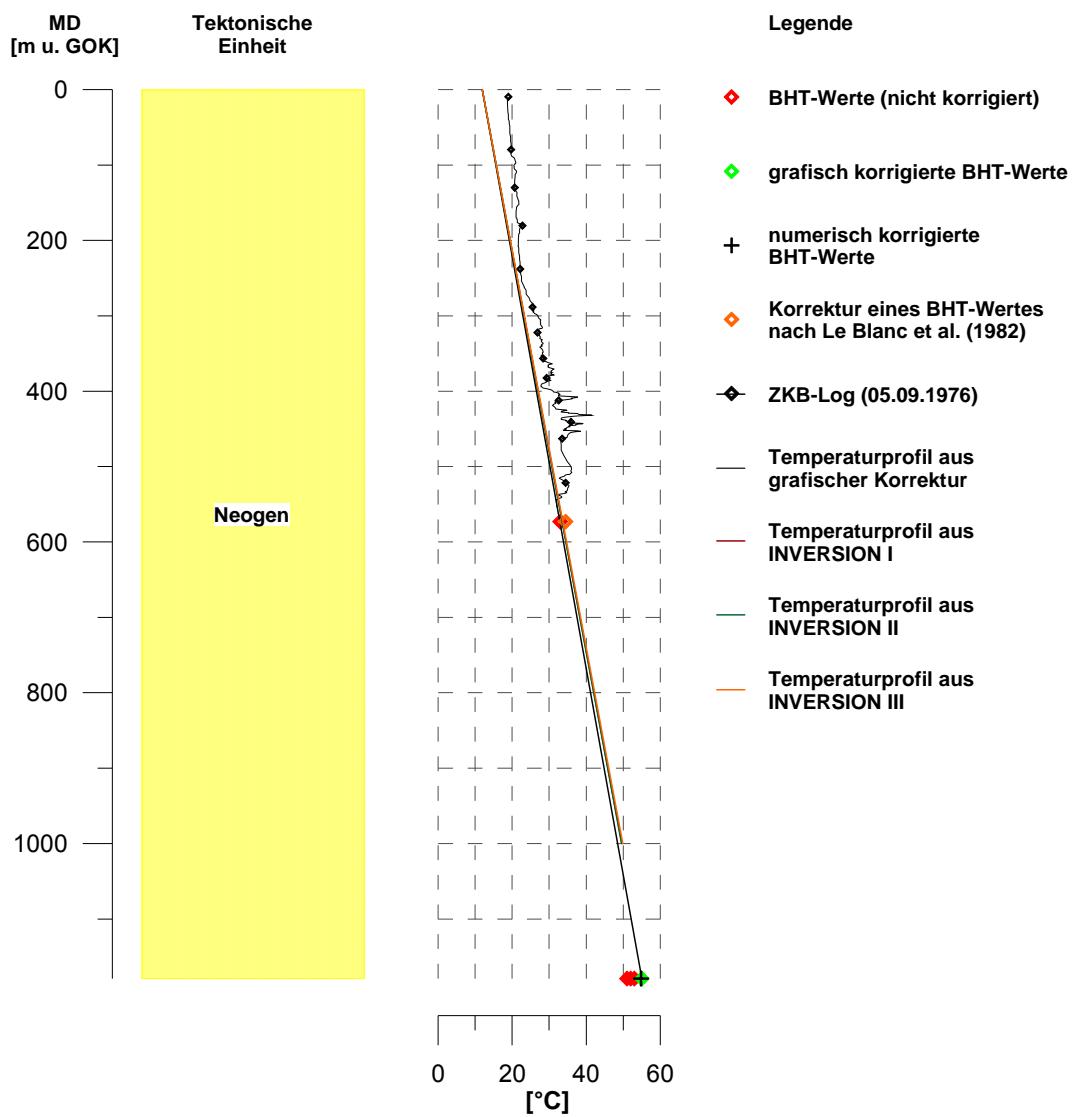
Bohrung 042



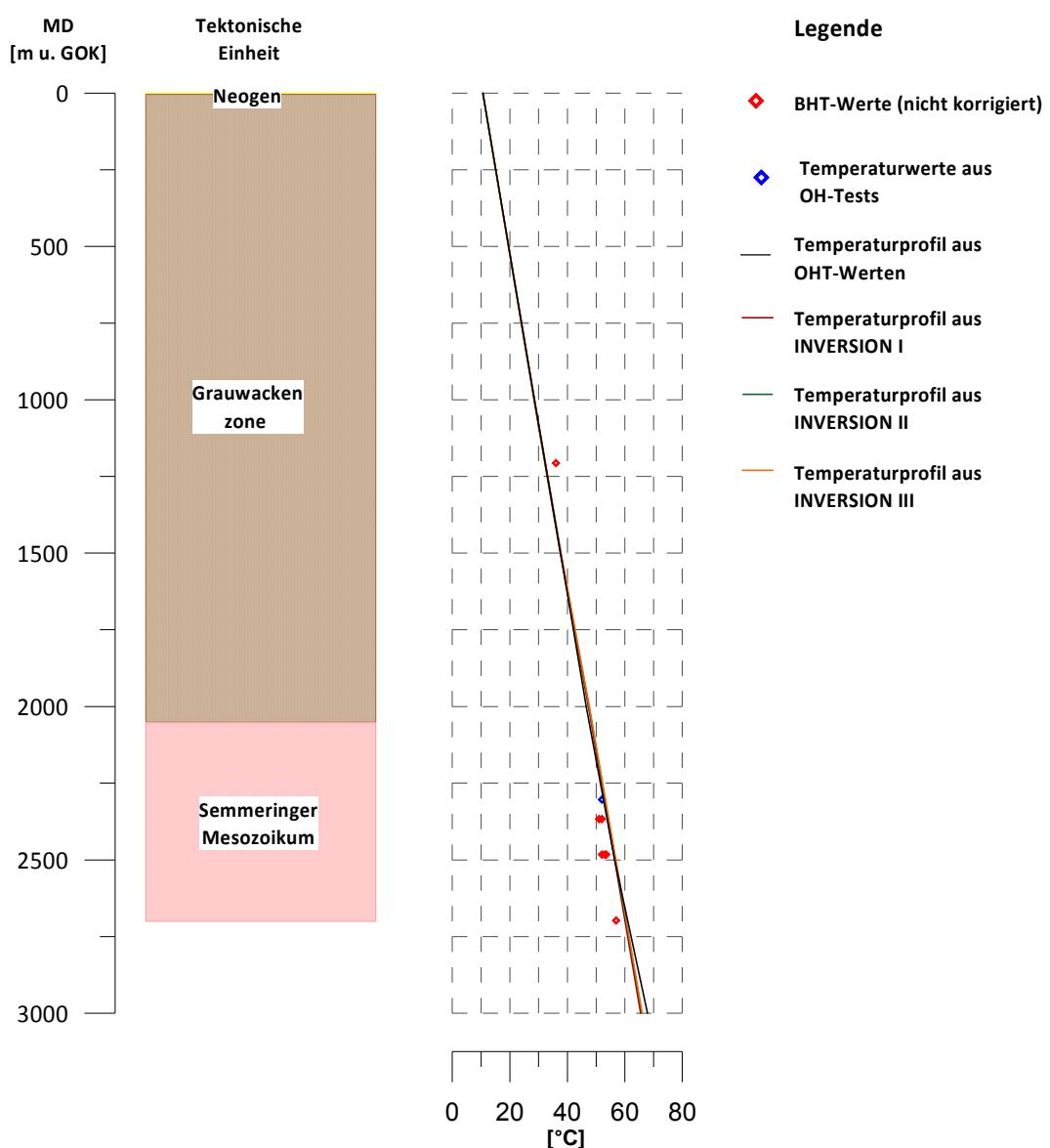
Bohrung 052



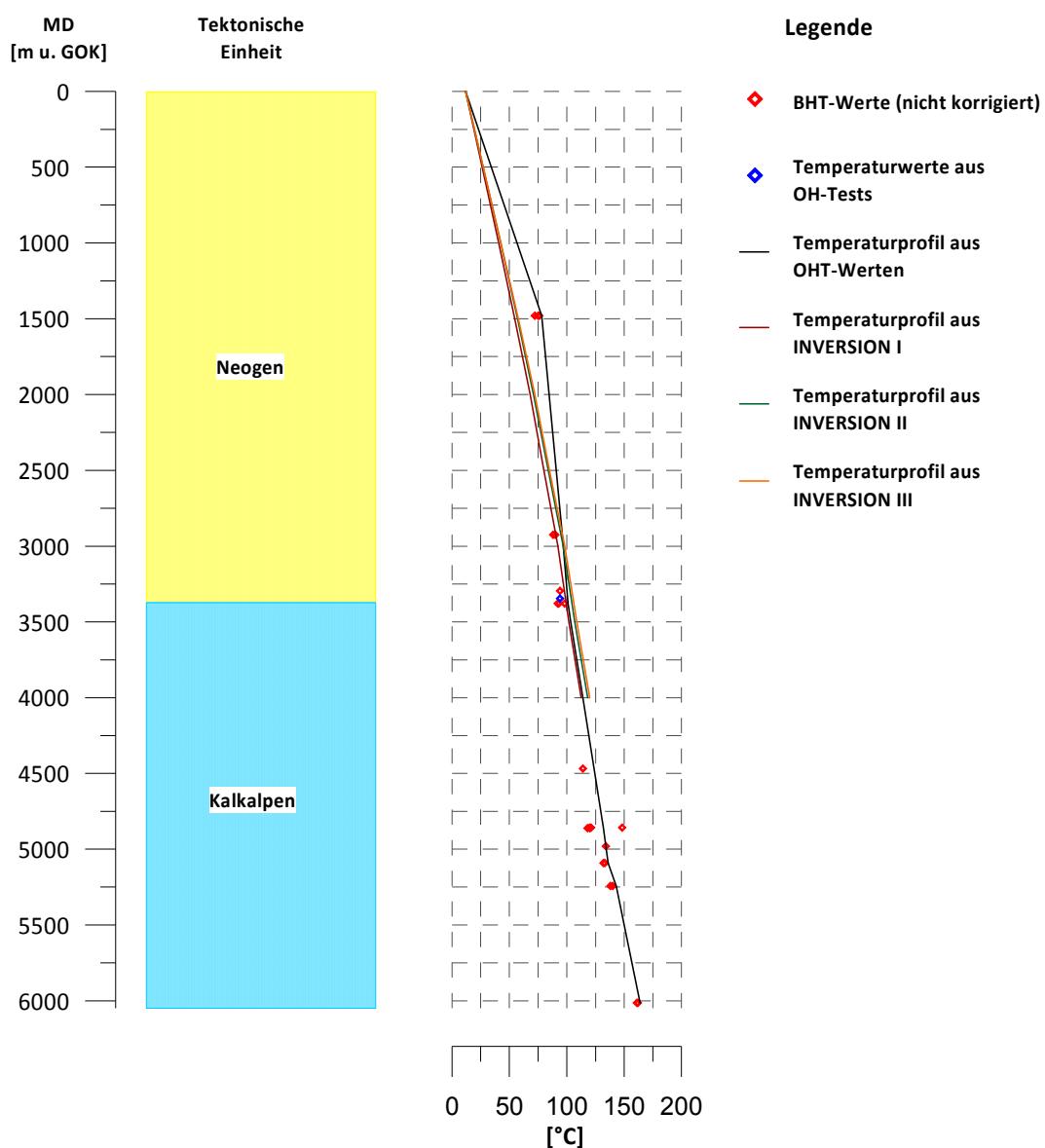
Bohrung 057



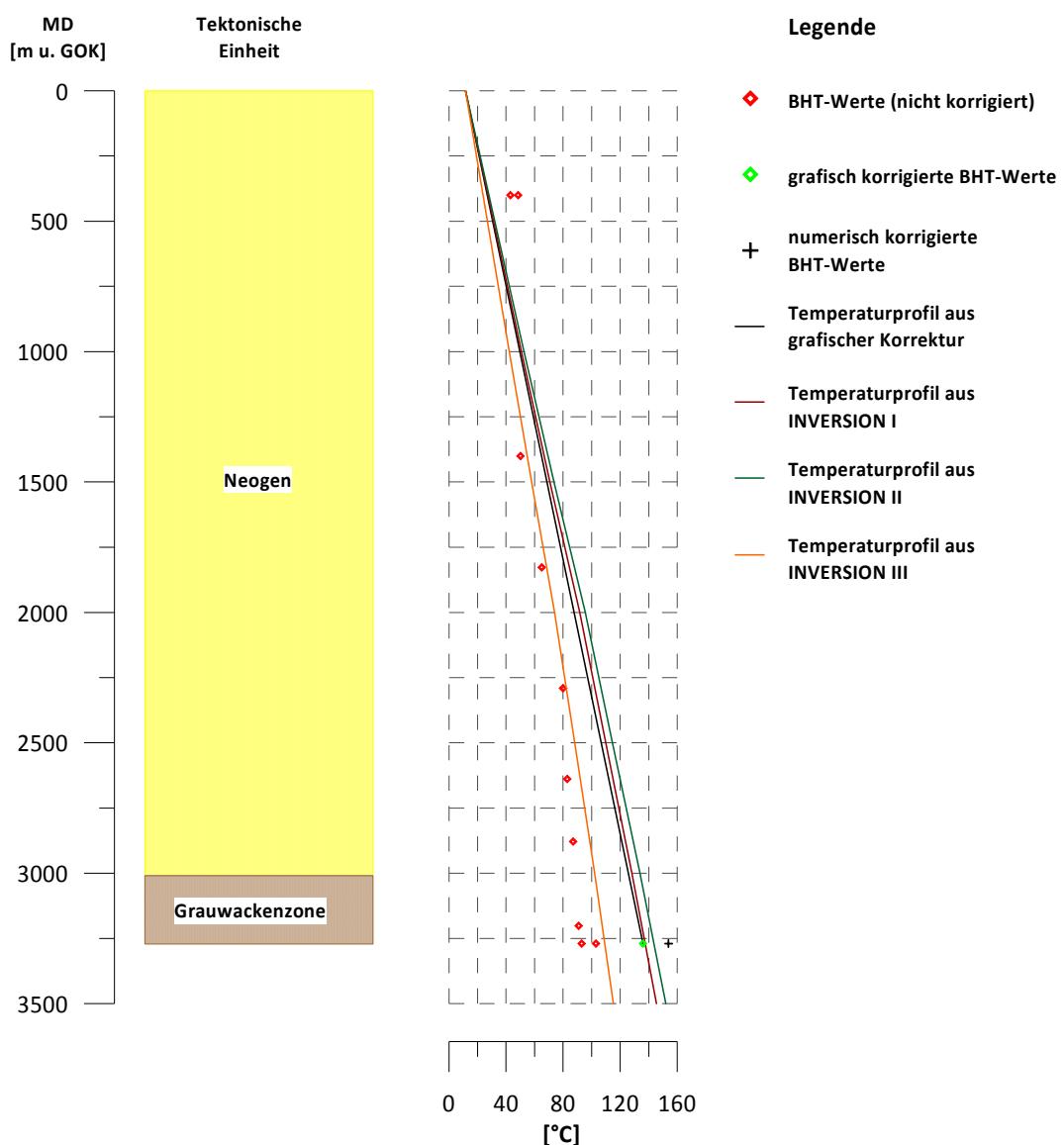
Bohrung 061



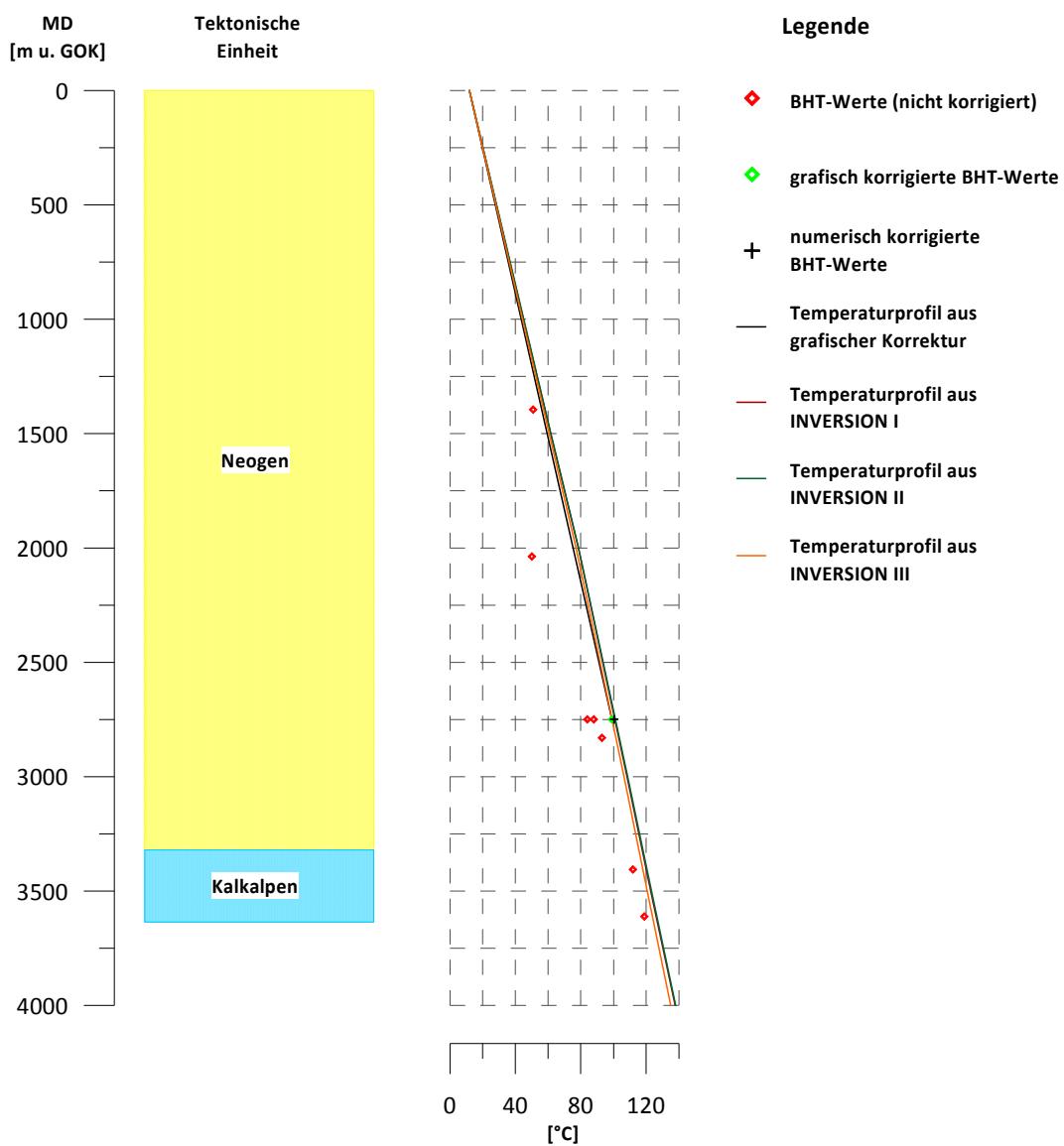
Bohrugn 062



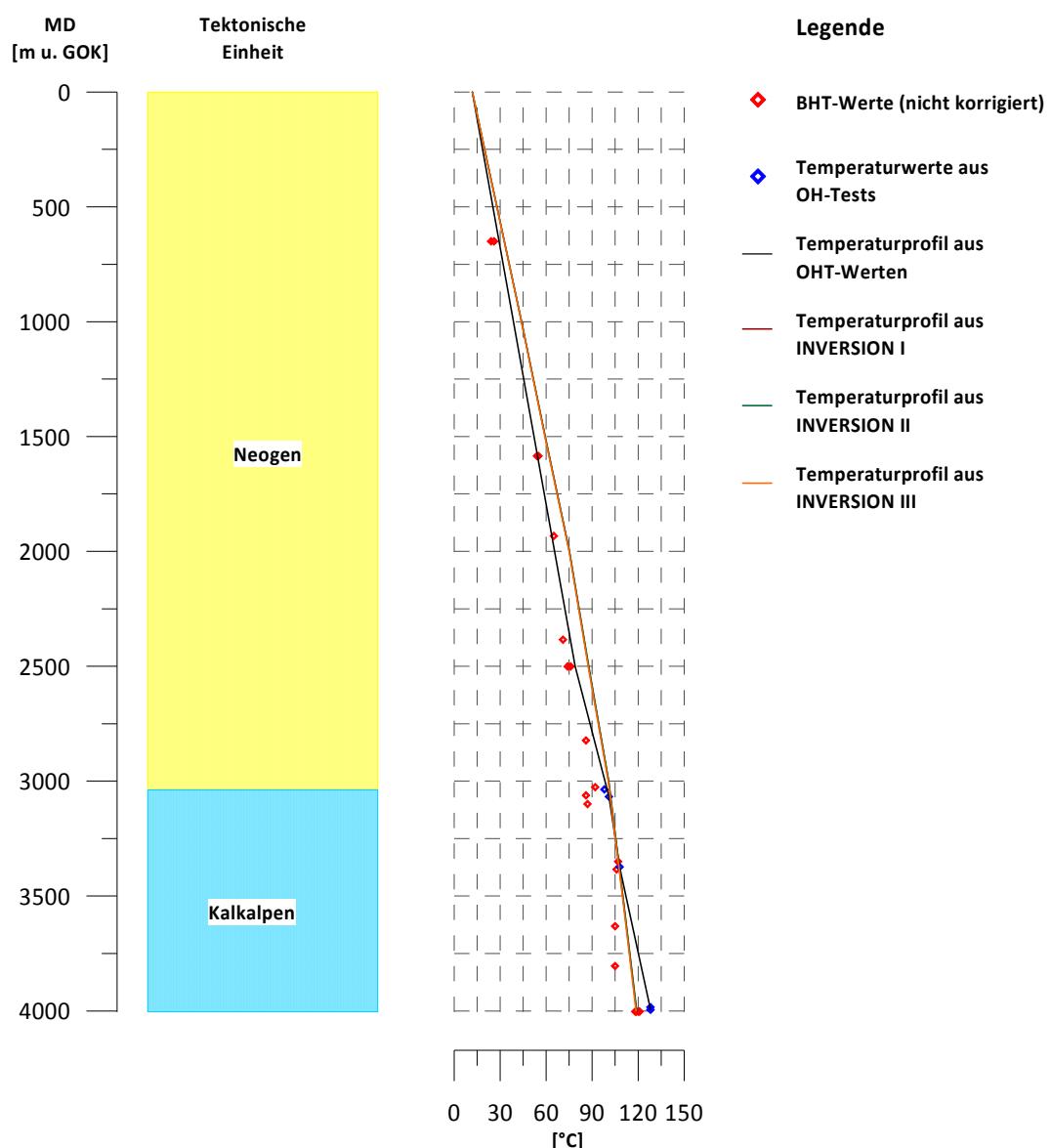
Bohrung 064



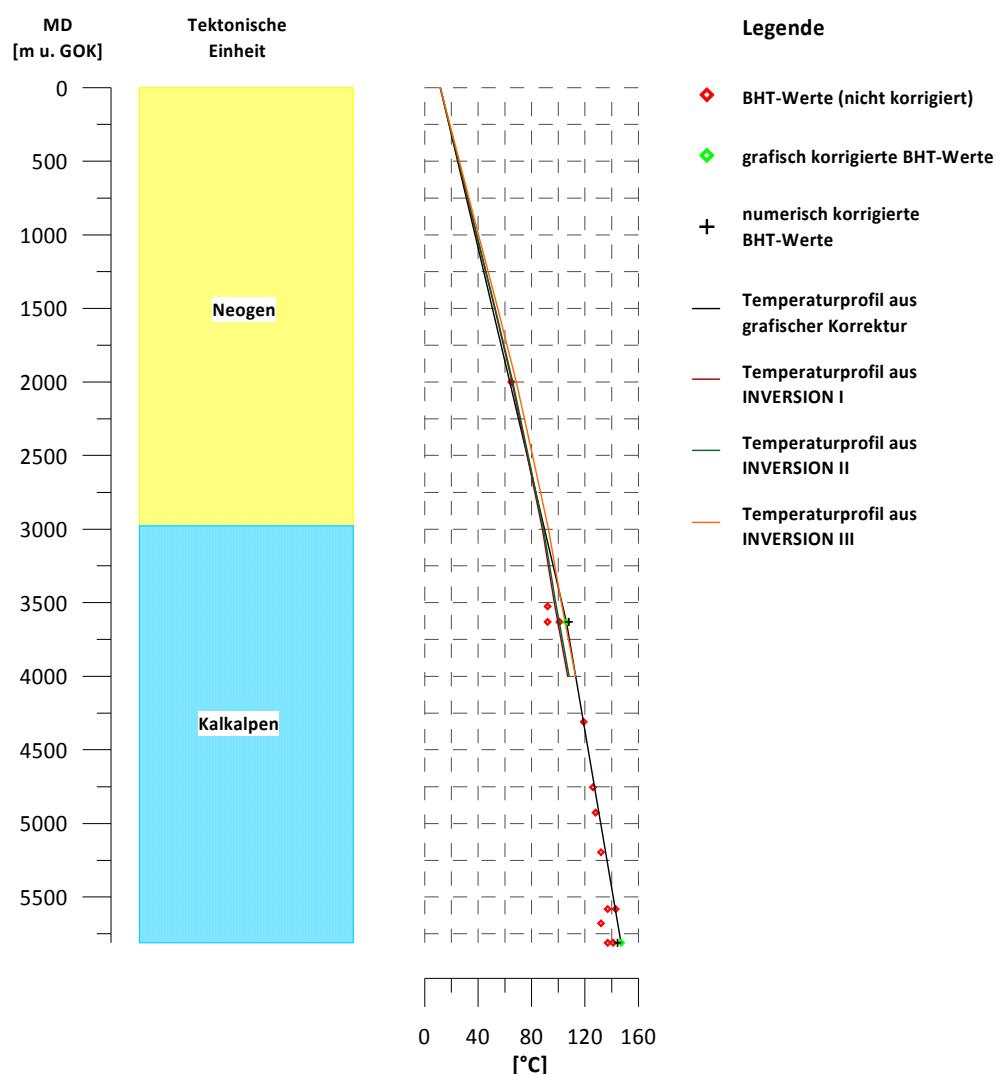
Bohrung 067



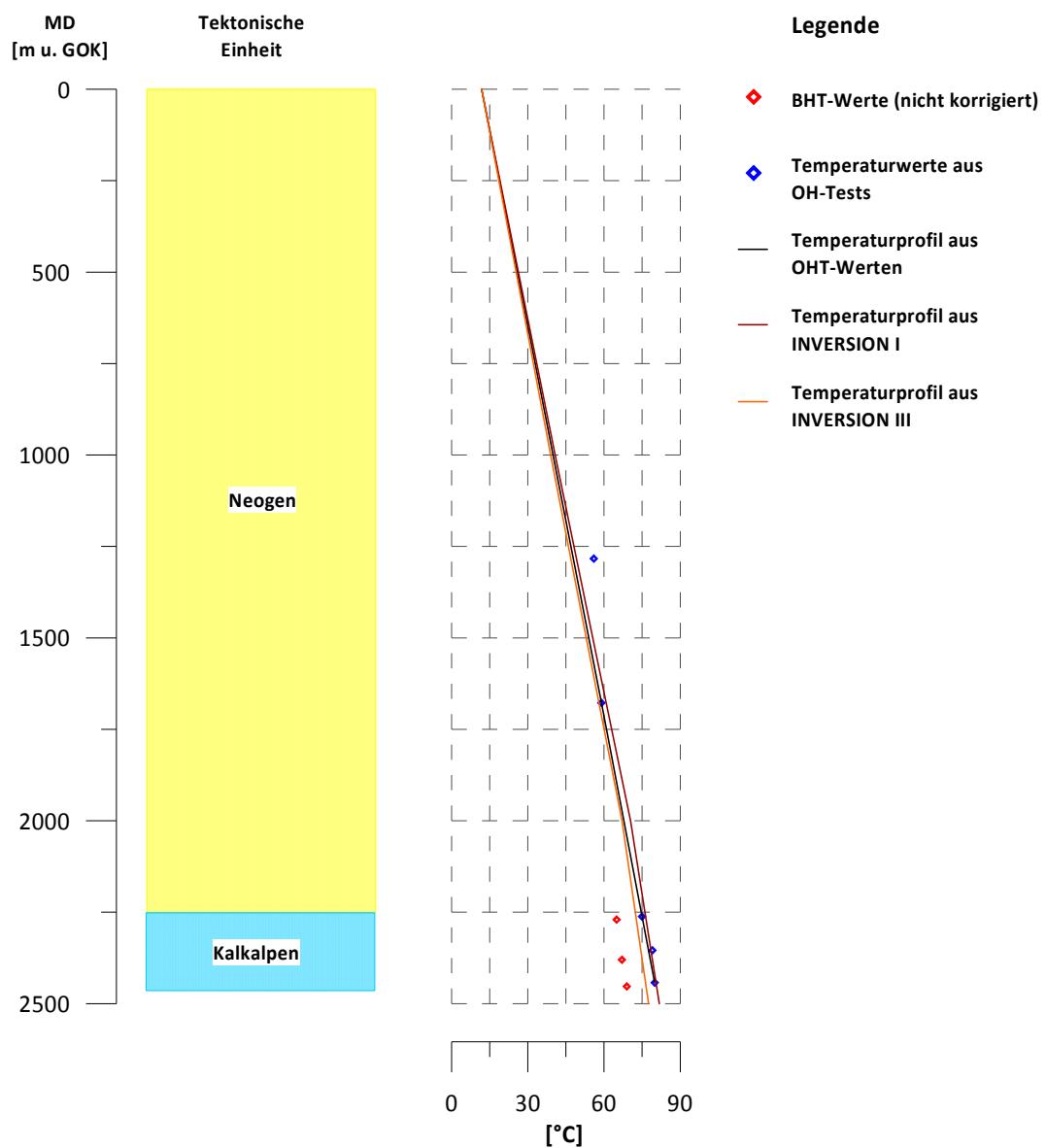
Bohrung 068



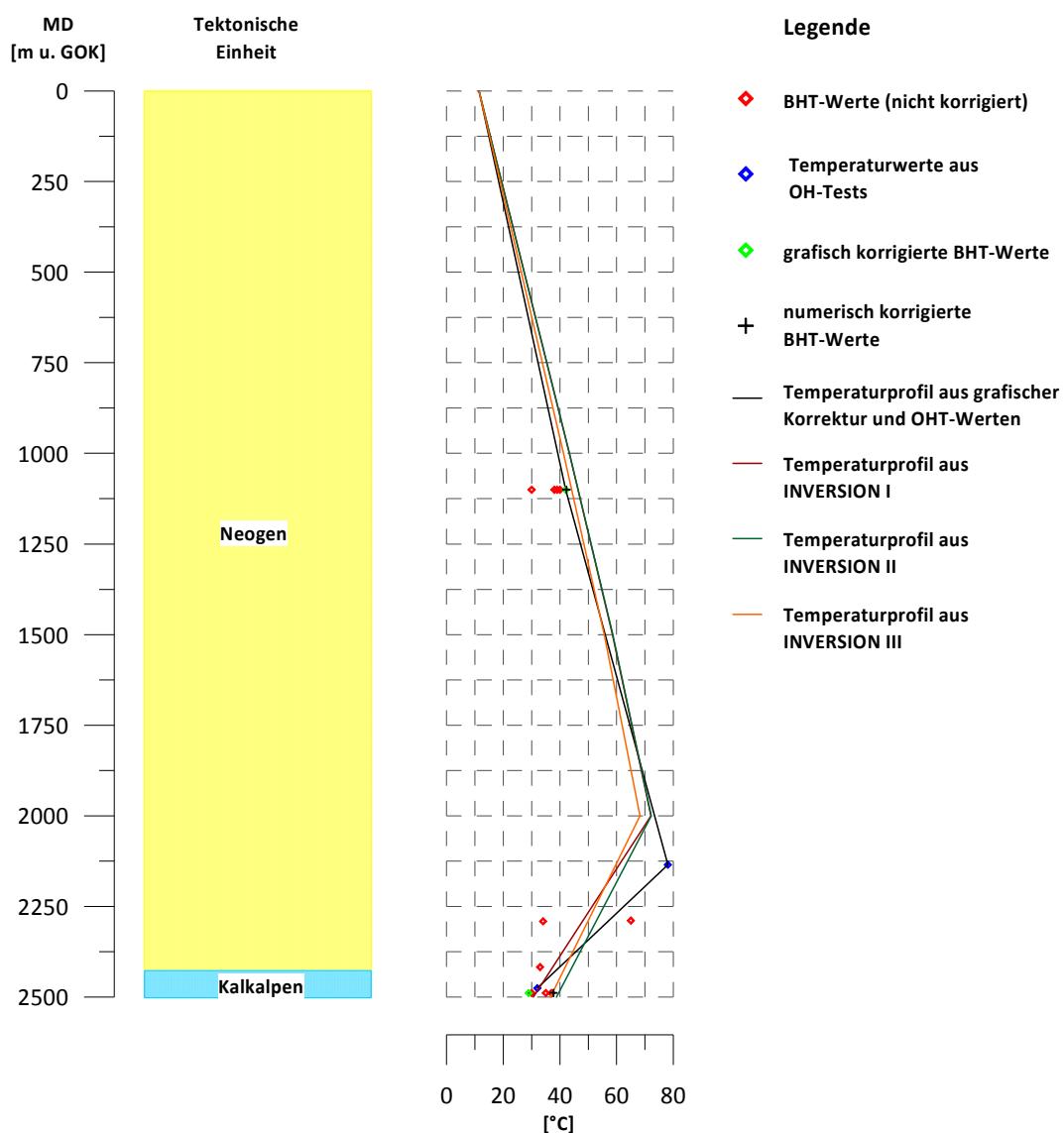
Bohrung 070



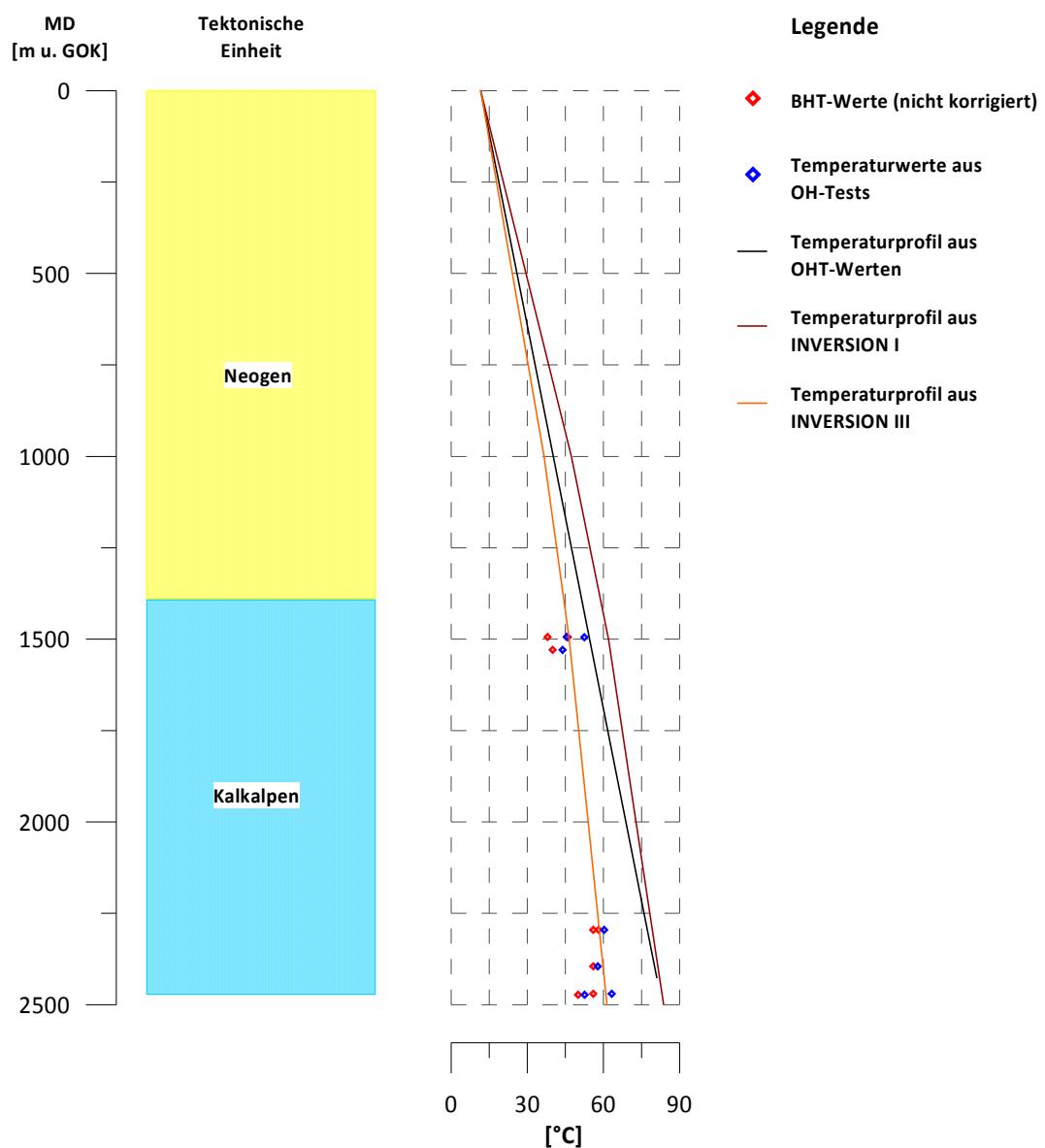
Bohrung 074



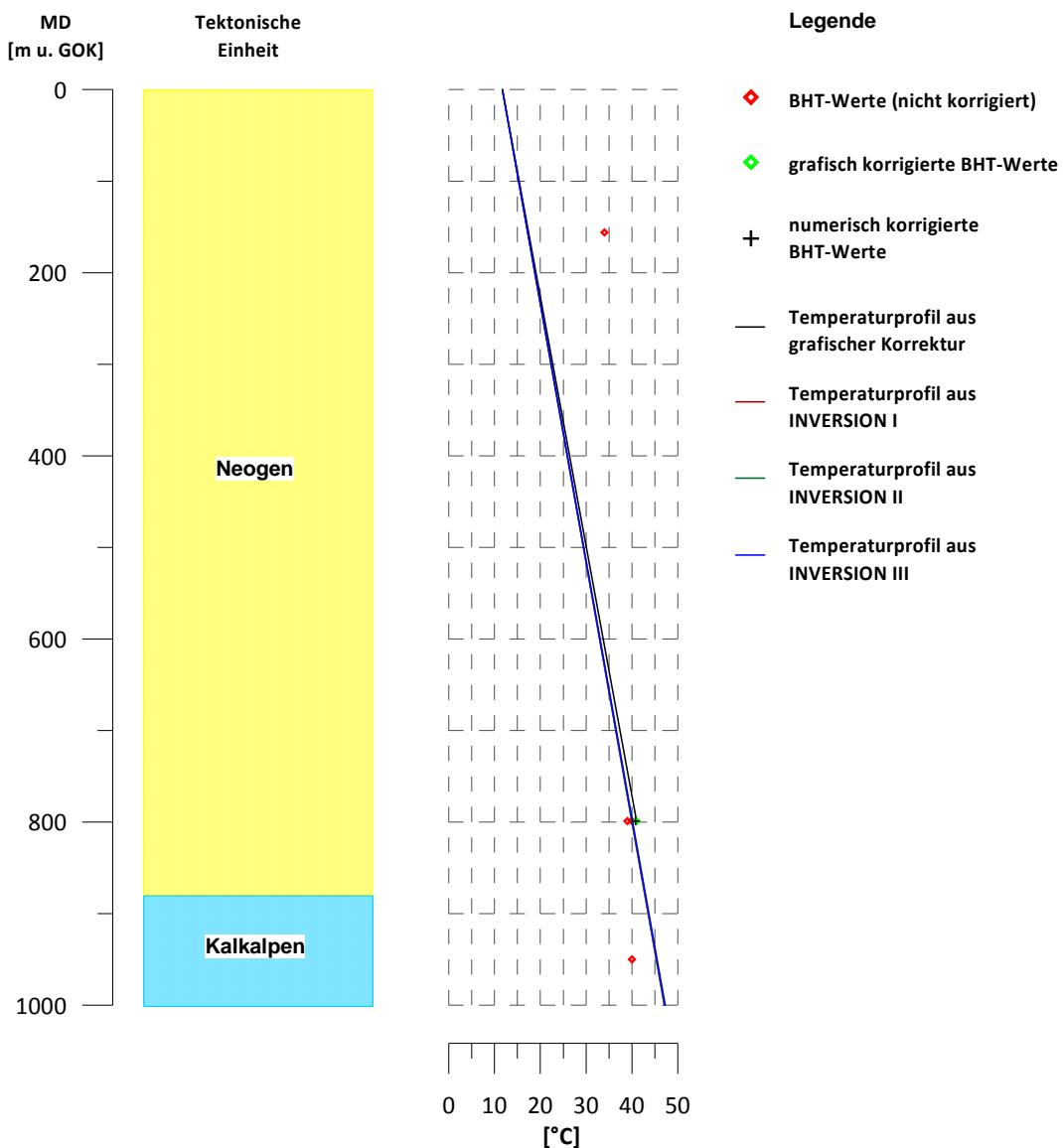
Bohrung 075



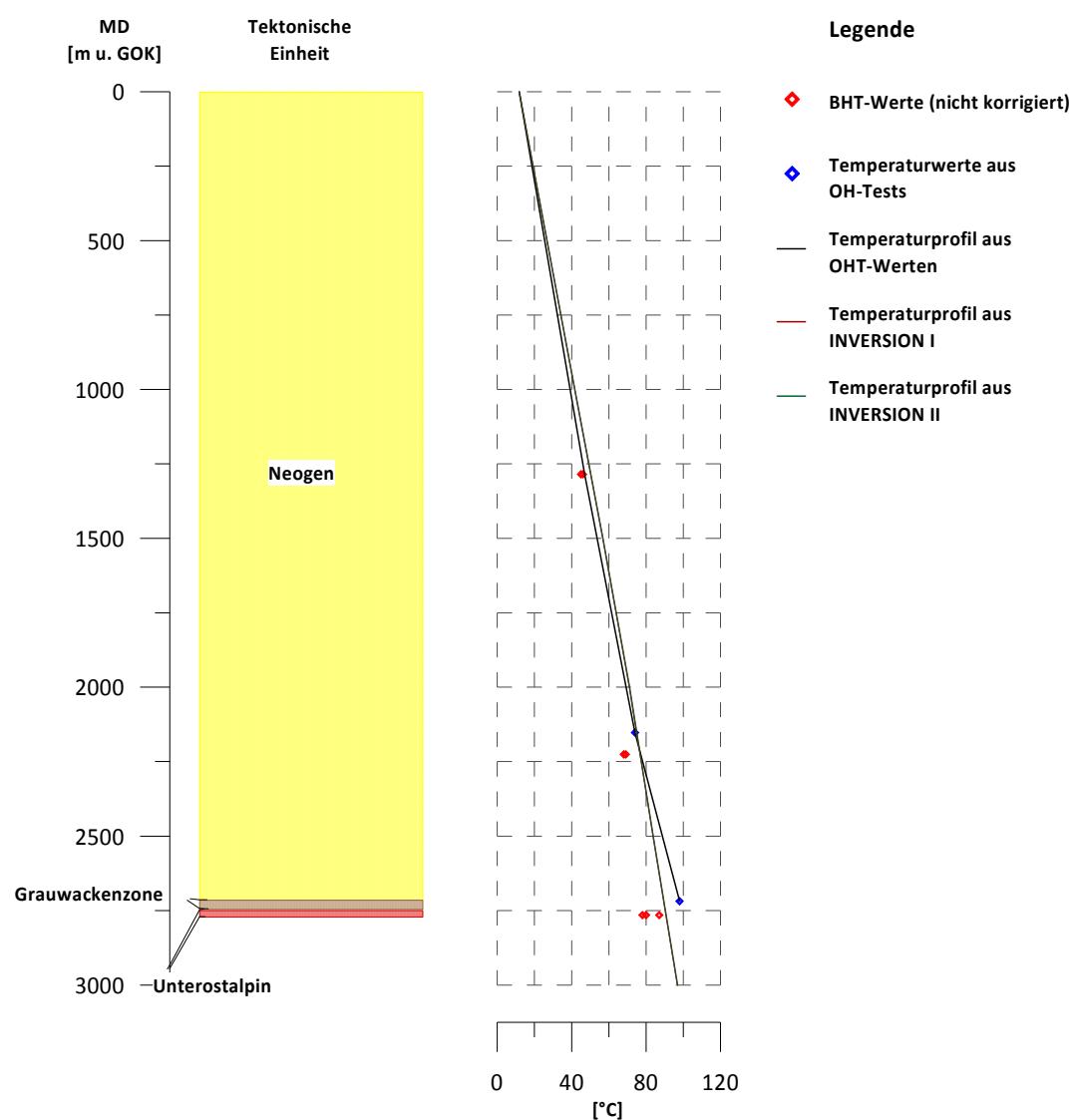
Bohrung 077



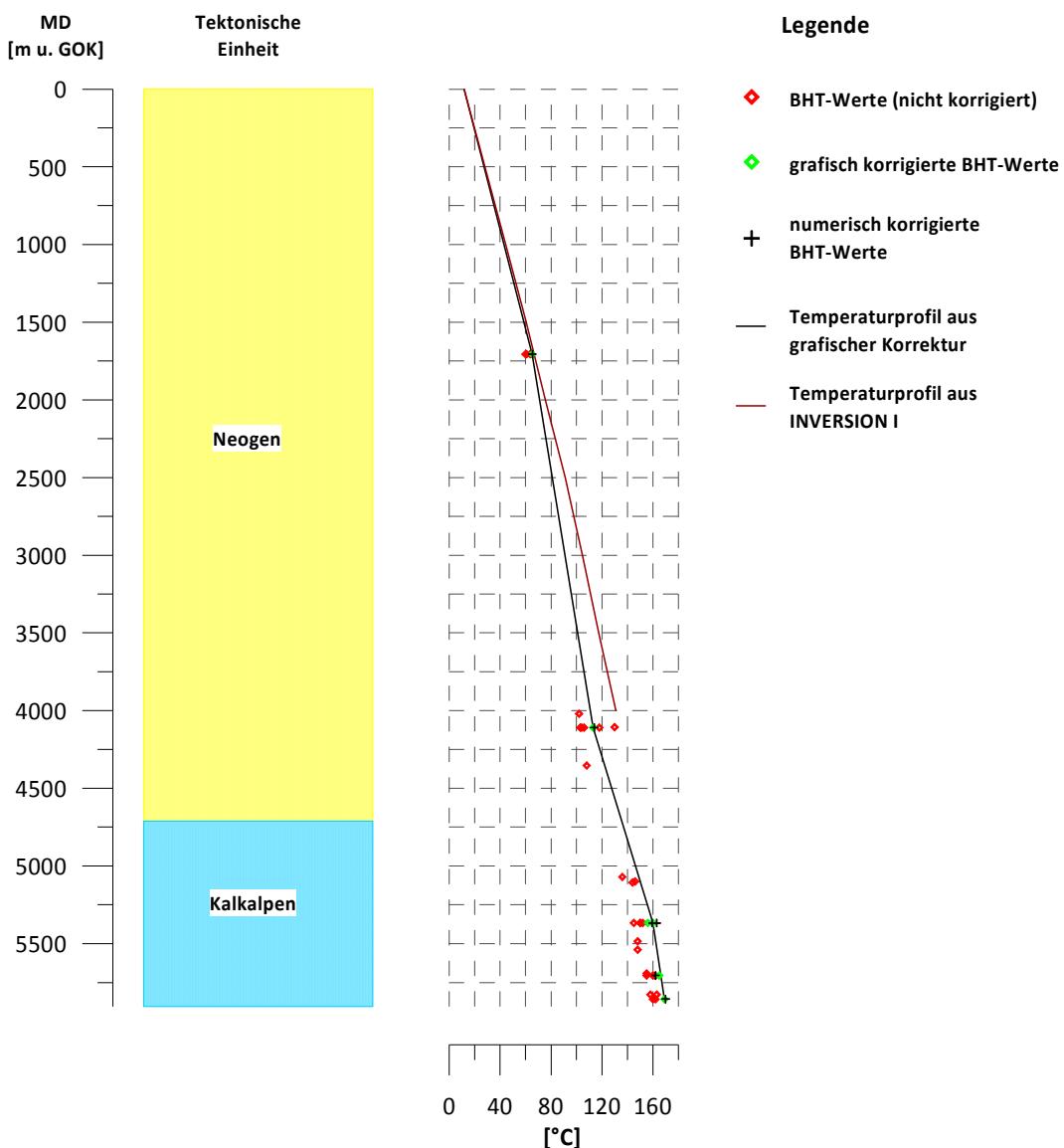
Bohrung 078



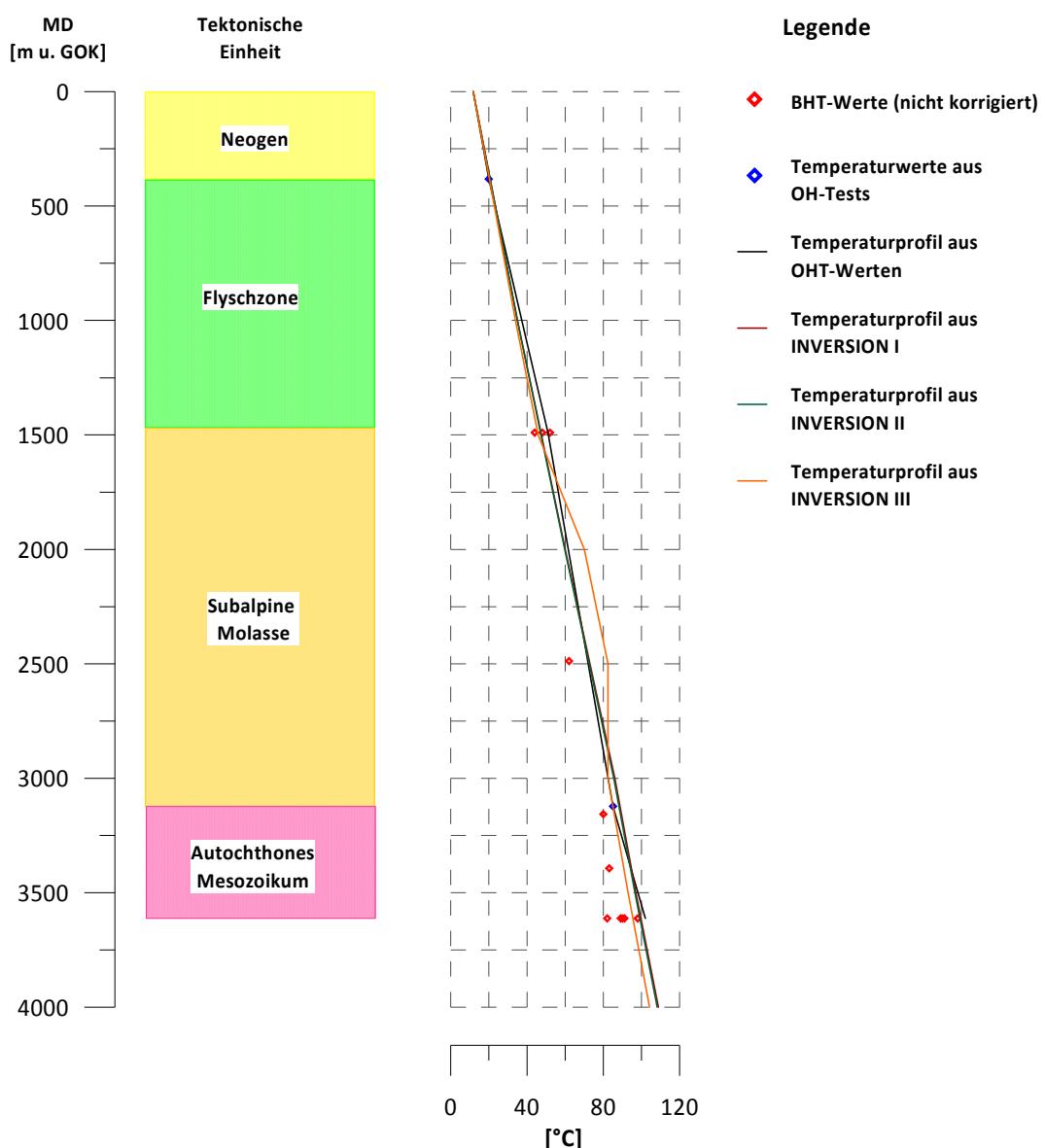
Bohrung 084



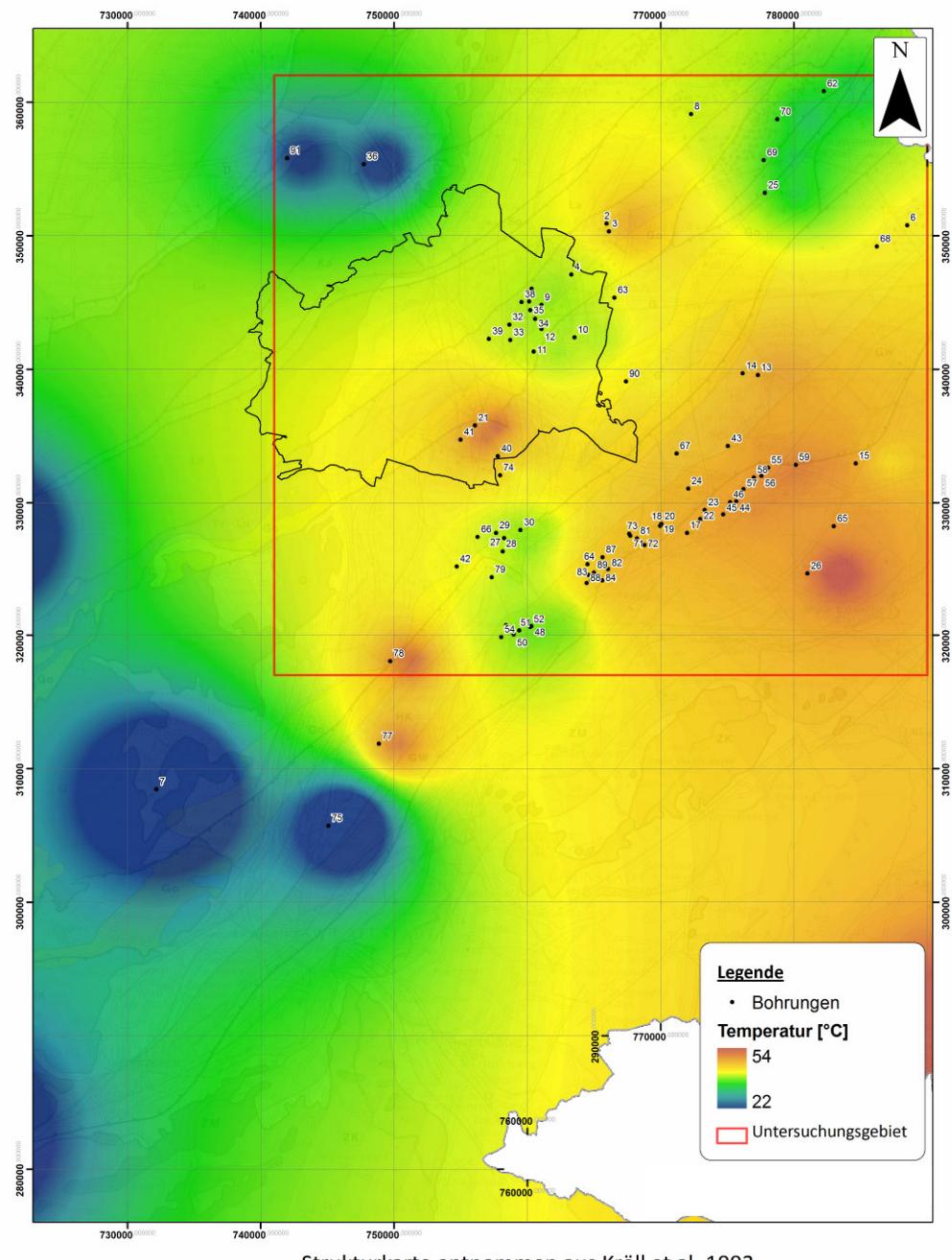
Bohrung 090



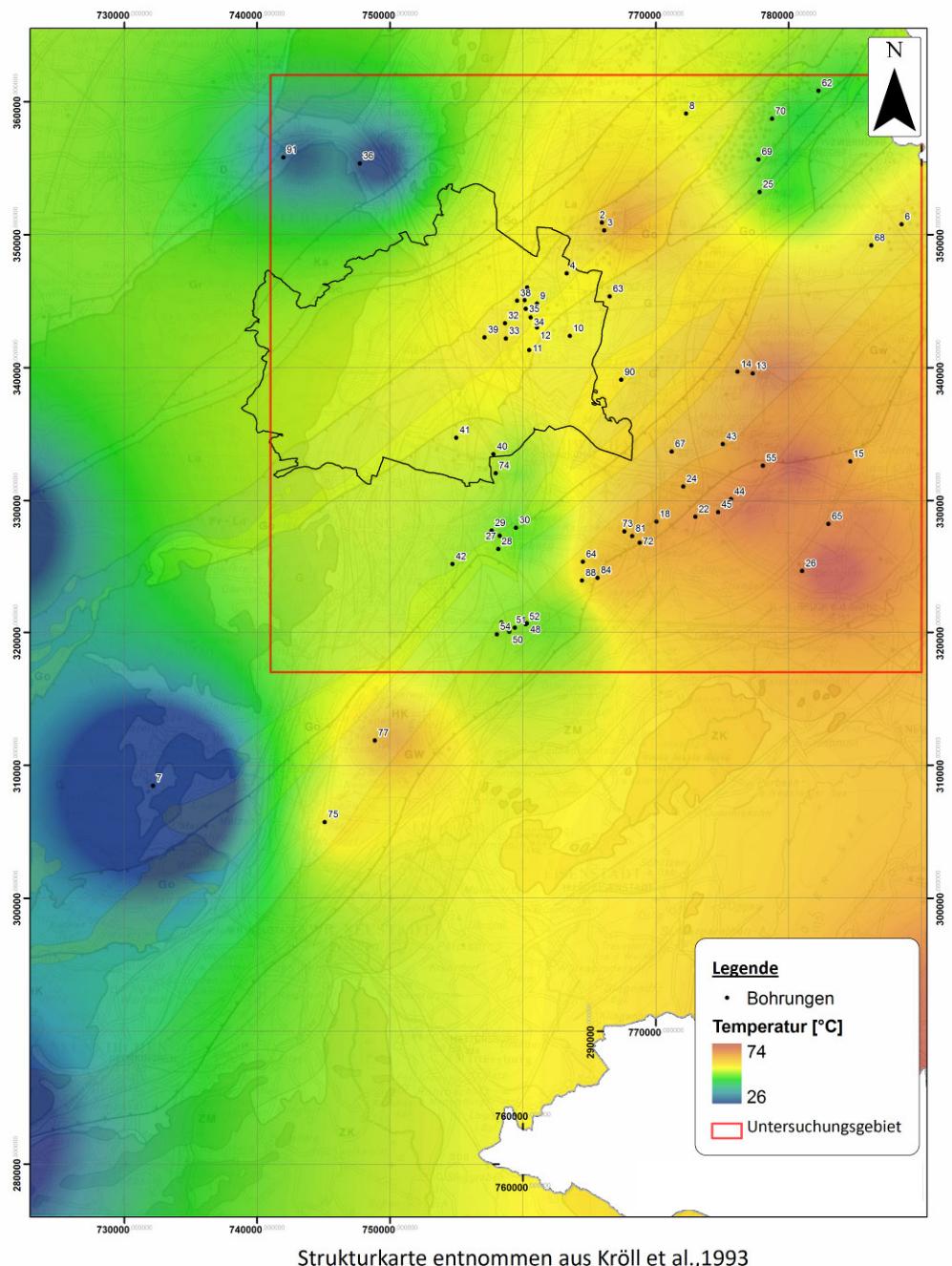
Bohrung 091



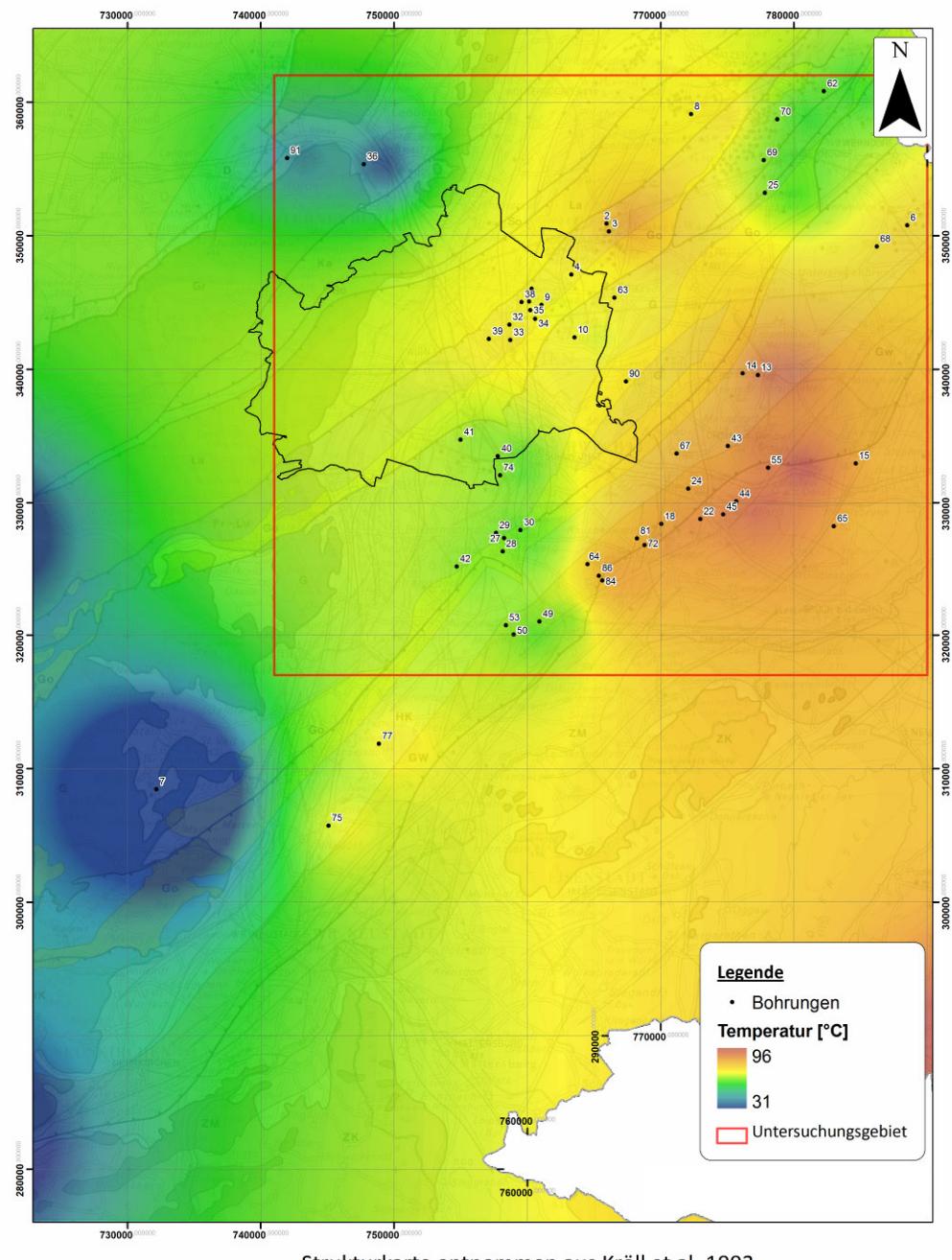
Temperaturverteilung in 1000m u. GOK



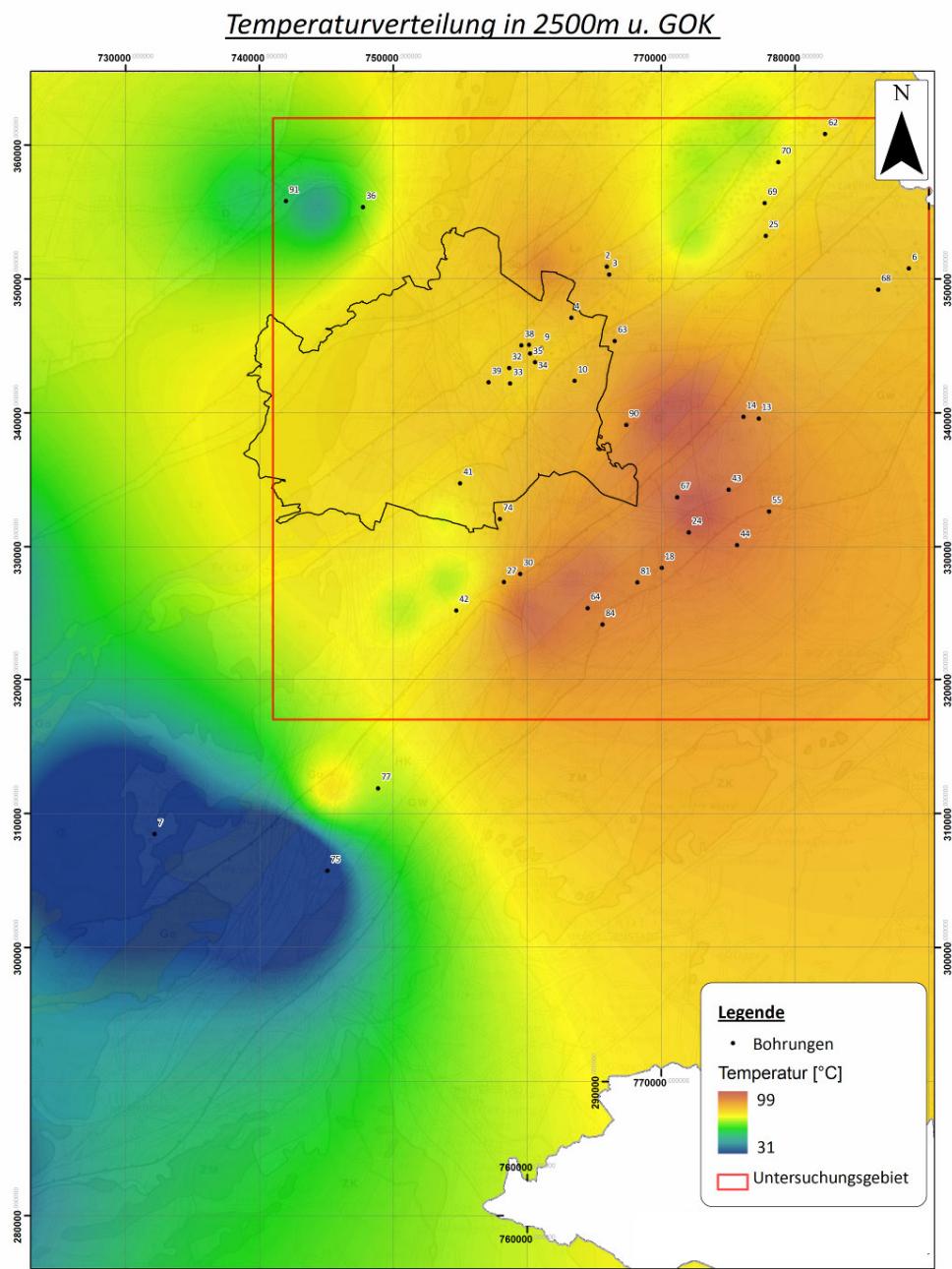
Temperaturverteilung in 1500m u. GOK



Temperaturverteilung in 2000m u. GOK



Strukturkarte entnommen aus Kröll et al., 1993



Strukturkarte entnommen aus Kröll et al., 1993

Lebenslauf

PERSÖNLICHE DATEN

Fatime Zekiri

geboren am 15. Februar 1984 in Wien

ledig

Adresse: Herbststraße 44/30-32, 1160 Wien
E-mail: fatime.zekiri@geologie.ac.at

SCHULAUSBILDUNG

1990 – 1994	Volksschule, Wien
1994 – 1995	Hauptschule, Leibnizgasse 33, 1100 Wien
1995 – 1998	Bundesrealgymnasium, Bundesrealgymnasium und wirtschaftskundliches Bundesrealgymnasium , Laaer Berg Str. 25 -29, 1100 Wien (Unterstufe)
1998 – 2002	Bundesrealgymnasium, Bundesrealgymnasium und wirtschaftskundliches Bundesrealgymnasium (Oberstufe)

HOCHSCHULAUSBILDUNG

2003 –2006	Diplomstudium der Meteorologie und Geophysik an der Universität Wien (erster Studienabschnitt)
2006 –2011	Diplomstudium der Geophysik an der Universität Wien (zweiter Studienabschnitt)

BERUFSERFAHRUNG

2006 – 2008	Freier Dienstnehmer und Ferialpraktika an der GBA – FA Geophysik, Aufgabengebiet: Prozessieren von geothermischen Daten, Literaturrecherche, Archivarbeiten.
2008 – 2010	Teilzeitanstellung auf der GBA – FA Geophysik, Aufgabengebiet: thermisches Processing und Modellierung.

2010 – dzt. Teilzeitanstellung auf der GBA – FA Hydrogeologie und Geothermie, Aufgabengebiet: thermisches Datenprocessing und thermische Modellierung.

Mitarbeit an durchgeföhrten Projekten:

2004 - 2008 THERMALP – Geothermie der Ostalpen

Seit 2008 OMV THERMAL – Tiefe geothermische Nutzung im Wiener Becken
THERMTEC – Thermisch- tektonische Modellierung orogenetischer Prozesse am Beispiel des Tauernfensters
THERMALP – Vertiefungsstudie südliches Wiener Becken

Seit 2010 TRANSENERGY – Transboundary Geothermal Energy Resources of Slovenia, Austria, Hungary and Slovakia

KENNTNISSE

EDV Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint, Access),
Golden Software (Surfer, Grapher Didger, Voxler),
Comsol Multiphysics (Anwenderkenntnisse),
ArcGIS (Anwenderkenntnisse),
Matlab (Anwenderkenntnisse),
SPW (Anwenderkenntnisse),
Interactive Petrophysics

Fremdsprachen Albanisch (Muttersprache)
Englisch