



Schlussbericht 23. März 2009

Nachmessungen Bohrung Basel 1

Resultate aus Temperaturmessung Dezember
08 Hydraulische Bohrlochversuche Januar-
Februar 09

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Geothermie
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

Geopower Basel AG, Basel
<http://www.geopower-basel.ch/>

Auftragnehmer:

Geothermal Explorers Ltd.
Schlossstrasse 3
CH-4133 Pratteln
www.geothermal.ch

Autor:

Florentin Ladner, florentin.ladner@geothermal.ch

BFE-Bereichsleiter: Gunter Siddiqi

BFE-Programmleiter: Rudolf Minder

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 153'977 / 102'676

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Nachmessungen Bohrung Basel 1

***Resultate aus
Temperaturmessung Dezember 08
Hydraulische Bohrlochversuche Januar-Februar 09***

***für
Geopower Basel AG***

Verfasser:



***Schlossstrasse 3
CH-4133 Pratteln
www.geothermal.ch***

März 2009

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	3
1.1	Ausgangslage	3
1.2	Bohrlochspezifische Angaben.....	3
2	Temperaturmessung	4
2.1	Organisation.....	4
2.2	Messtechnik	4
2.3	Durchführung	4
2.4	Resultate.....	5
3	Auffüllversuch (I)	9
3.1	Organisation.....	9
3.2	Messtechnik	9
3.3	Durchführung	9
3.4	Resultate.....	9
4	Auffüllversuch (II)	11
4.1	Organisation.....	11
4.2	Messtechnik	11
4.3	Durchführung	11
4.4	Resultate.....	11
4.4.1	Analyse und Interpretation des Druckaufbaus.....	12
4.4.2	Analyse und Interpretation der Druckerholung	15
4.4.3	Reservoirendurchlässigkeiten vor und nach der Stimulation	16
5	Fördertest (I) & (II).....	18
5.1	Organisation.....	18
5.2	Messtechnik	18
5.3	Durchführung	18
5.4	Resultate.....	18
6	Schlussfolgerungen.....	21

1 Einführung

1.1 Ausgangslage

Seit dem Abbruch der hydraulischen Stimulation im Dezember 2006 wurden in der Geothermiebohrung Basel 1 keine weiteren Nachmessungen durchgeführt. Bis zum Zeitpunkt der Nachmessungen konnten keine gesicherten Angaben über ungestörte Reservoirtemperatur in 5'000m Tiefe und stimulierte Reservoirdurchlässigkeiten gemacht werden. Mit der Durchführung der Nachmessungen, die eine Temperaturmessung und hydraulische Bohrlochversuche vorsehen, kann diese Wissenslücke geschlossen werden.

Die geplanten Nachmessungen wurden von den kantonalen Behörden (AUE & Bauinspektorat des Kantons Basel-Stadt) unter Einhaltung strenger Auflagen genehmigt:

- Lückenlose Überwachung im 24h Betrieb der seismischen Aktivität im Reservoirbereich
- Der Unterdruck von maximal 5 bar beim Niedrig-Raten-Fördertest darf nicht überschritten werden.
- Bei mehr als 5 detektierbaren seismischen Ereignissen, die zeitlich korreliert mit der Förderaktivität auftreten, wird der Niedrig-Raten-Fördertest sofort abgebrochen.
- Tritt ein einzelnes Ereignis mit einer Momentenmagnitude > 1 auf, so wird der Niedrig-Raten-Fördertest abgebrochen.

1.2 Bohrlochspezifische Angaben

<i>Koordinaten (CH-Koordinatennetz):</i>	611'810 / 270'536 / 250
<i>Endtiefe:</i>	5'000 m
<i>Offene Bohrstrecke:</i>	4'629 – 5'000 m
<i>Länge offene Bohrstrecke:</i>	371 m
<i>Verrohrung:</i>	0 – 795 m: 10 ¾" 795 – 4'629m : 7 5/8"
<i>Bohrdurchmesser offene Bohrstrecke:</i>	4'629 – 4'841 m: 9 7/8" 4'841 – 5'000 m: 8 ½"
<i>Bohrlochvolumen:</i>	~ 146 m ³
<i>Bemerkung:</i>	Bohrlochhindernis bei ~ 4'700 m

Alle Tiefenangaben in Meter unter Terrainoberfläche.

Die Bohrung Basel 1 ist mit einem Eruptionskreuz (E-Kreuz) gesichert. Die Ventile des E-Kreuzes sind seit dem Abbruch der hydraulischen Stimulation offen, so dass sich kein Druck in der Bohrung aufbauen kann. Automatische Pegelstandsmessungen in der Bohrung haben gezeigt, dass der Wasserspiegel starken Schwankungen unterworfen ist. Der Wasserspiegel steigt innerhalb ungefähr eines Monats kontinuierlich an und kumuliert in einem „Auswurf“ von ca. 30 m³ Wasser. Danach sinkt der Pegel schlagartig ab und steigt wieder an. Bis zum heutigen Tag wurden dadurch ca. 3'800 m³ Wasser von total 11'570 m³ eingepresstem Wasser zurückgefördert. Es wird vermutet, dass dieses Phänomen im Zusammenhang mit der Entgasung von N₂, CH₄ und CO₂ steht. Diese Gase wurden qualitativ nachgewiesen.

Die chemischen Hauptbestandteile des geförderten Wassers sind Natrium (Na) und Chlor (Cl). Der Gesamtlösungsinhalt (TDS) der letzten Analyse (Februar 2008) beträgt ~ 15.5 g/l.

2 Temperaturmessung

2.1 Organisation

<i>Organisation, Planung & Auswertung:</i>	<i>Geothermal Explorers Ltd SJ-Geotec</i>
<i>Messung:</i>	<i>GGA (Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben) Hannover</i>
<i>Kranwagen:</i>	<i>Stefani Transport AG</i>
<i>Durchführungsdatum:</i>	<i>10.12.2008</i>

2.2 Messtechnik

<i>Temperatur-Messsonde:</i>	<i>Analoge Sonde PT100; OD 43 mm</i>
<i>Genauigkeit:</i>	<i>0.001°C</i>
<i>Temperaturbereich:</i>	<i>0 – 260°C</i>

2.3 Durchführung

Die Temperaturmessung erfolgte bei der Einfahrt, da nur in diesem Fall eine ungestörte Messung möglich ist. Gemessen wurde bis zum Ende der Verrohrung auf einer Teufe von 4'600 m. Ein Ausfahren aus der Verrohrung wäre mit der Gefahr verbunden gewesen, dass die Sonde entweder in einer Blockade oder beim Zurückfahren an der Verrohrung hängen geblieben wäre. Folglich wurde aus Sicherheitsgründen eine Endteufe der Messungen von 4'600 m gewählt. Die Fahrgeschwindigkeit betrug ca. 12 m/min. Messwerte wurden alle 5 cm aufgenommen. Dies ergaben ca. 92'000 Messungen. Um allfälligen Problemen (z.B. Aufstehen oder Hängenbleiben der Sonde) entgegen zu können, wurde die Messung lückenlos

mit dem Computer und Messanzeigen überwacht. Dies erlaubte zudem Anomalien im Temperatur-Tiefen-Profil zu erkennen. Der Nullpunkt wurde auf 250 müNN (OKT) gewählt.

2.4 Resultate

Die Temperatur steigt gegenüber einem mittleren kontinentalen Temperaturgradient von $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ stärker an und erreicht in der maximal angefahrenen Tiefe von 4'600 m eine Temperatur von 173.7°C (Abbildung 1).

Das Temperaturprofil kann grundsätzlich in 2 Bereiche unterteilt werden (Abbildung 1). Im oberen Bereich zwischen 0 und 2'500 m, welcher den mesozoischen und permischen Sedimenten entspricht, verläuft das Temperatur-Tiefen-Profil nicht geradlinig, sondern zeigt einige Änderungen im Temperaturanstieg. Im Gegensatz dazu nimmt die Temperatur im unteren Bereich von 2'500 m abwärts konstant zu. In diesem Bereich, welcher dem variszischen Grundgebirge entspricht, kommen keine grossen Anomalien vor. Ausserdem ist der Temperaturanstieg geringer als im oberen Bereich. Die Änderungen im Temperaturanstieg korrelieren in einigen Fällen mit Stratigraphie- bzw. Lithologiewechseln. Eindeutige Wechsel erkennt man z.B. an der Grenze Tertiär – Malm, Malm – Dogger, Dogger – Lias, Salzlager (Muschelkalk) – Mergel im Liegenden und obere permische Sandsteine – Tonsteine im mittleren Perm. Des Weiteren fällt der Knick im Temperaturprofil von den permischen Sedimenten in die Granite des Grundgebirges auf.

Die Änderungen im Temperaturprofil spiegeln sich auch im geothermischen Gradienten wieder. In Abbildung 2 ist der geothermische Gradient als Funktion der Tiefe aufgetragen. Zur besseren Lesbarkeit wurden die Werte für Tiefenstufen von 10 m gemittelt und in der Mitte der jeweiligen Tiefenstufe geplottet. Im Gegensatz zum Temperatur-Tiefen-Profil werden somit Änderungen in der Temperatur mit der Tiefe besser ersichtlich. Der gemessene Gradient variiert zwischen <0.2 bis $>0.7^{\circ}\text{C}$ pro 10 m.

Die Messungen zeigen, dass deutliche Variationen im Gradienten im mesozoischen, permischen und im oberen Bereich des Grundgebirges bis auf 2'800m Tiefe vorhanden sind. Darunter, im Bereich von 2'800 bis 4'600 m ist der Gradient nahezu konstant und beträgt ca. $2.7^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Abgesehen von überlagerten Variationen können die Änderungen z.T. mit Lithologiewechseln in Einklang gebracht werden. So zeigen die kompetenten Kalke einen Gradienten von ca. $0.2\text{-}0.3^{\circ}\text{C}/10\text{ m}$, die Steinsalzlage im Muschelkalk von $<0.2^{\circ}\text{C}/10\text{ m}$ und die Mergel und Tonschiefer tendenziell einen höheren Gradienten von $>0.4^{\circ}\text{C}/10\text{ m}$ mit Werten bis zu $0.5\text{-}0.7^{\circ}\text{C}$ im Fall des Opalinustons und der Estherienschiefer. Diese Wechsel in der Stratigraphie bzw. der Lithologie können mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten erklärt werden, welche sich mit Untersuchungen an Proben von der Bohrung Otterbach-2 decken. Gleichwohl fallen einige Änderungen im Gradient nicht immer eindeutig mit Lithologiegrenzen zusammen, was wiederum ein Anzeichen auf unterschiedliche Grundwasserstockwerke sein kann.

Wie schon oben erwähnt, zeigt das Grundgebirge unterhalb von 2'800 m interessanterweise keine eindeutigen Anomalien, sondern einen konstanten geothermischen Gradienten von $2.7^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Dies deutet darauf hin, dass keine konvektiven Grundwasserströmungen aktiv sind, sondern der Wärmeausgleich rein konduktiv erfolgt. Des Weiteren bedeutet dies, dass in diesem Bereich keine dominanten permeablen Brüche vorhanden sind, aus welchen Wasser mit unterschiedlicher Temperatur austreten könnte, oder, dass zwar Brüche vorhanden sind, diese aber nicht mit einander verbunden sind und somit kein Wasseraustausch über

kommunizierende Bruchsysteme zwischen verschiedenen Stockwerken stattfindet. Dies ist verschieden zur Bohrung in Soultz (Frankreich). Diese zeigt im Top vom Grundgebirge eine deutliche positive Anomalie, welche mit Grundwasserströmungen aus tieferen Grundgebirgsstockwerken erklärt werden kann, d.h. wärmeres Wasser aus tieferen Bereichen tritt in seichterem Stockwerken wieder aus.

Kleinere Variationen im Gradienten von maximal 0.3°C im Teufenbereich 2'500-3'000 m (Abbildung 2), welche im Temperatur-Tiefen-Profil nicht zu erkennen sind, deuten ev. auf Wegsamkeiten im Top des permisch angewitterten Grundgebirges hin. Entlang dieser Wegsamkeiten treten ev. Wässer aus weitverzweigten Systemen in das Bohrloch aus und rufen somit kleine Änderungen in der Temperatur hervor. Diese Interpretation bedarf aber weiterer Erkundungen.

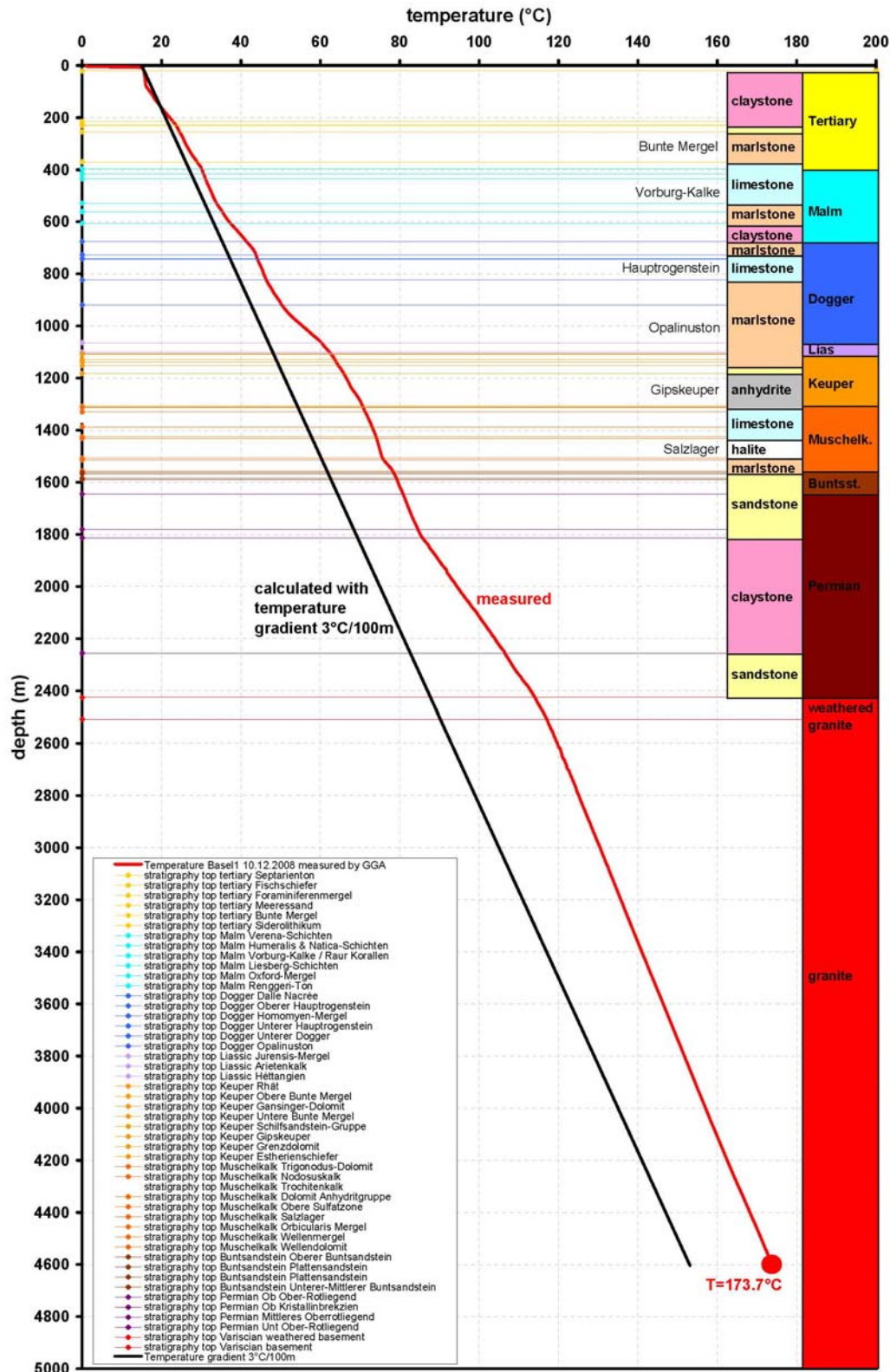


Abbildung 1: Gemessenes Temperatur-Tiefen-Profil in der Bohrung Basel1 (rot, keine Tiefenkorrektur). Zum Vergleich in schwarz das Temperaturprofil mit einem geothermischen Gradienten von 3°C/100 m. Auf der rechten Seite sind die Hauptformationen und die Hauptgesteinstypen aufgetragen. Die farbigen horizontalen Linien entsprechen den Oberkanten der angetroffenen Schichten während der Bohrphase.

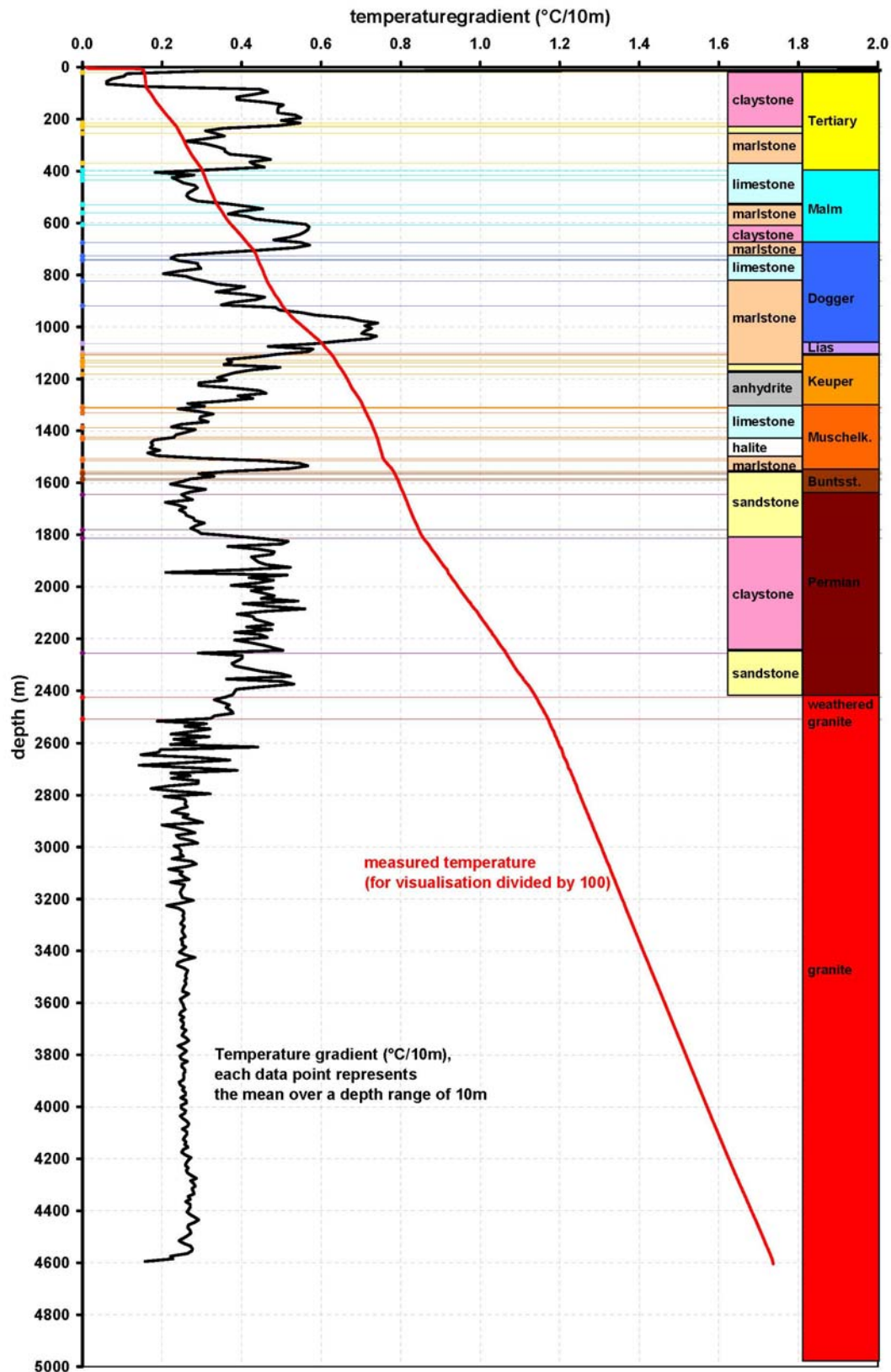


Abbildung 2: Änderungen im geothermischen Gradient mit der Tiefe (keine Tiefenkorrektur). Zum Vergleich ist die Temperatur in rot aufgetragen. Zur besseren Darstellung wurde diese um den Faktor 100 verkleinert. Auf der rechten Seite sind die Hauptformationen und die Hauptgesteinstypen aufgetragen. Die farbigen horizontalen Linien entsprechen den Oberkanten der angetroffenen Schichten während der Bohrphase.

3 Auffüllversuch (I)

3.1 Organisation

<i>Organisation, Planung & Auswertung:</i>	<i>Geothermal Explorers Ltd</i>
<i>Messung:</i>	<i>Geothermal Explorers Ltd</i>
<i>Durchführungsdatum:</i>	<i>22.01.2009</i>

3.2 Messtechnik

<i>Druck-Messsonde:</i>	<i>Piezoresistiver Drucksensor Keller Serie 26 W</i> <i>Installiert bei -35 m ab OK X-mas tree</i>
<i>Messbereich:</i>	<i>0 – 5 bar</i>
<i>Auflösung:</i>	<i>> 0.025 bar</i>

3.3 Durchführung

Beim Auffüllversuch wurde über einen Gartenschlauch, der am Aussenventil ($\frac{1}{2}$ Zoll) des X-mas trees angeschlossen wurde, Frischwasser in die Bohrung eingeleitet. Gemessen wurden der dadurch erzeugte Anstieg und anschliessende Abfall des Wasserspiegels. Die mittlere Fliessrate betrug 40 l/min. Das Messintervall des Drucksensors betrug 10 sek.

3.4 Resultate

Während 40 Minuten wurde vergeblich versucht eine Wasserspiegeländerung im Bohrloch herbeizuführen. Insgesamt wurden 1'600 Liter Wasser in die Bohrung eingeleitet, ohne dass eine signifikante Änderung des Wasserspiegels bewirkt werden konnte (Abbildung 3). Eine verlässliche Angabe über die Durchlässigkeit des stimulierten Reservoirs lässt sich aus den geringen Druckänderungen nicht ableiten. Nichtsdestotrotz deutet dieser Versuch darauf hin, dass die ursprüngliche Reservoirdurchlässigkeit um ein Vielfaches erhöht werden konnte.

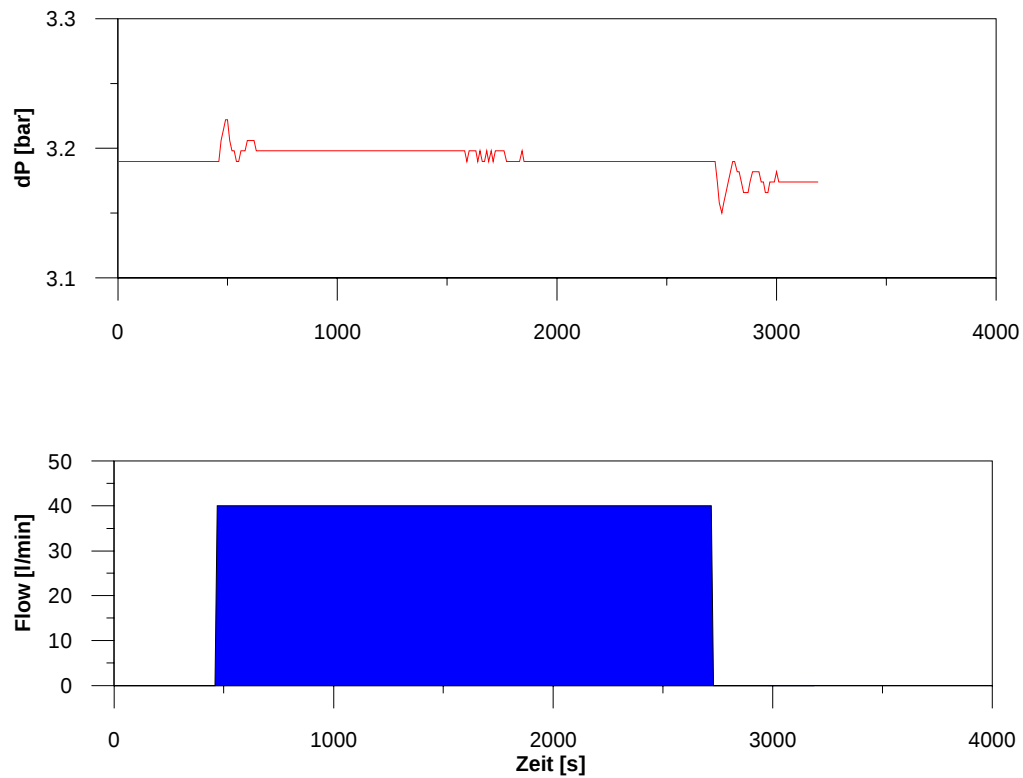


Abbildung 3: Auffüllversuch (I) Basel 1. Pegelstand (rote Linie) in der Bohrung während des Einleitens von Frischwasser mit einer Fließrate von ~ 40l/min (blaue Linie). Insgesamt wurden 1.6 m^3 (1'600 Liter) Frischwasser eingeleitet.

4 Auffüllversuch (II)

4.1 Organisation

<i>Organisation, Planung & Auswertung:</i>	<i>Geothermal Explorers Ltd</i>
<i>Messung:</i>	<i>SJ-Geotec / Geothermal Explorers Ltd</i>
<i>Durchführungsdatum:</i>	<i>12.02.2009</i>

4.2 Messtechnik

<i>Druck-Messsonde:</i>	<i>Piezoresistiver Drucksensor Keller Serie 26 W</i> <i>Installiert bei -35 m ab OK X-mas tree</i>
<i>Messbereich:</i>	<i>0 – 5 bar</i>
<i>Auflösung:</i>	<i>< 0.025 bar</i>

4.3 Durchführung

Der zweite Auffüllversuch wurde durchgeführt unmittelbar nachdem die Bohrung von sich aus produziert hatte. Dabei wurde über einen Feuerwehrschauch Frischwasser in die Bohrung eingeleitet. Gemessen wurden der dadurch erzeugte Anstieg und der anschliessende Abfall des Wasserspiegels. Die maximale Fliessrate betrug ~ 330 l/min. Über eine Zeitdauer von 40 min wurden insgesamt ~ 10m³ Wasser eingefüllt. Das Messintervall des Drucksensors betrug 5 sek.

4.4 Resultate

Die Abbildung 4 gibt einen Überblick über den Testverlauf des Auffüllversuches (II). Die Druckkurve zeigt, dass die Versuchsdauer zu kurz war um stationäre Verhältnisse zu erreichen und dass der ursprüngliche Wasserstand vor dem Versuch (ca. 1.7 bar) nach dem Versuch (ca. 2.1 bar) nicht mehr erreicht werden konnte. Dieses Verhalten ist wahrscheinlich auf mehrere Faktoren zurückzuführen: Druckvorgeschichte, Dichte- und Temperatureffekte, und Entgasung.

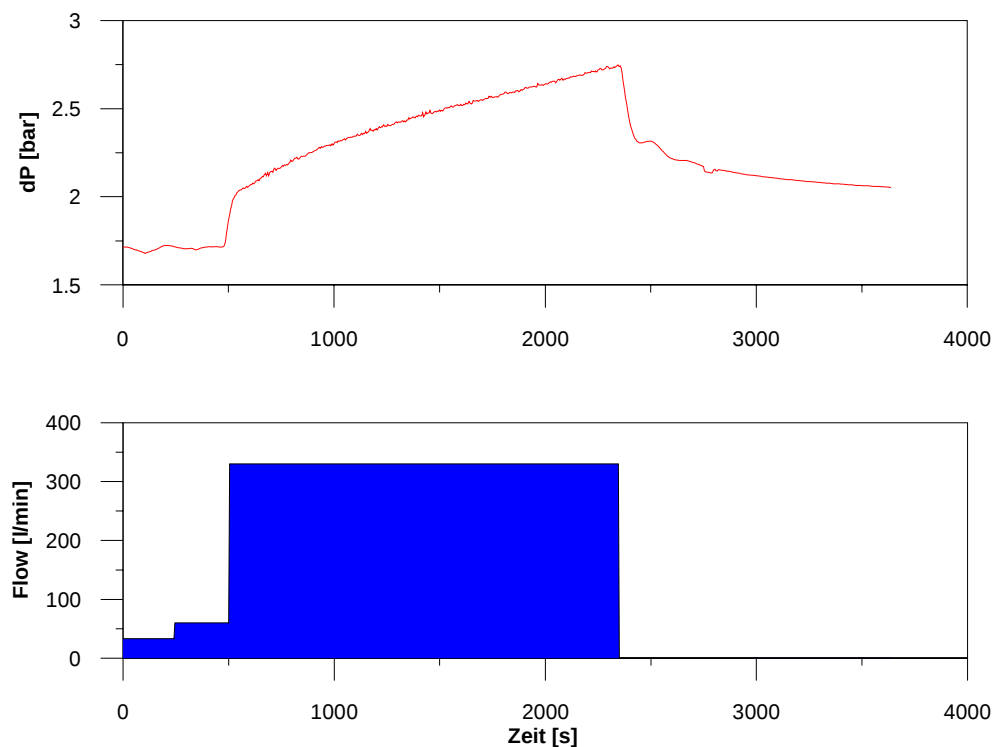


Abbildung 4: Auffüllversuch (II) Basel 1: Sensordruck (rot) in der Bohrung während des Einleitens von Frischwasser (blau = Fließrate).

4.4.1 Analyse und Interpretation des Druckaufbaus

Der Druckanstieg wurde mit Hilfe von diagnostischen Plots ausgewertet. Der Druckverlauf im Log-Log Diagram (Abbildung 5 oben) zeigt drei unterschiedliche Phasen, die folgendermassen interpretiert werden:

Phase 1: Die Steigung der Gerade durch die Messpunkte der Phase 1 beträgt 1 ($= 45^\circ$) und zeigt damit den Brunnenspeicher an. Der aus dem Testverlauf bestimmte Brunnenspeicher beträgt $\sim 0.85 \text{ m}^3/\text{bar}$. Wird der Brunnenspeicher theoretisch über den Durchmesser der Verrohrung berechnet, kommt man auf einen Wert von $\sim 0.4 \text{ m}^3/\text{bar}$. Der aus dem Testverlauf bestimmte Bohrlochspeicher ist damit um einen Faktor 2 grösser als der theoretisch berechnete. Dies ist ein Indiz für einen zusätzlichen Speicher, der an die Bohrung angekoppelt ist. Dieser Speicher könnte z.B. eine relativ grosse, offene Kluft sein, die die Bohrung schneidet und die das Wasser ohne Reibungswiderstand fließen lässt.

Phase 2: Das Abflachen der Druckkurve markiert das Ende des Brunnenspeichereffektes und einen geringen Fließwiderstand im Nahbereich der Bohrung. Unsere Vorstellung ist, dass in dieser Phase das Wasser aus der Bohrung in ein Kluft- /Rissystem fliesst, wo ein geringer Fließwiderstand herrscht. Die Eindringtiefe der Druckfront kann mit Hilfe des „Radius of investigation“ abgeschätzt werden:

$$R \approx 2 \cdot \sqrt{\frac{k \cdot t}{S \cdot \mu}}$$

R ... Reichweite / radius of investigation [m]

k ... Permeabilität [m^2]

S ... Speicherkoeffizient [$1/\text{Pa}$]

μ ... Dynamische Viskosität [$\text{Pa} \cdot \text{s}$]

t ... Zeitdauer [s]

Sie beträgt gemäss oben genannter Formel ca. 15 m für die Phase 2. Das heisst, dass im Nahbereich der Bohrung bis ca. 15 m eine Kluft existiert, die das Wasser sehr gut zirkulieren lässt.

Phase 3: Das Ansteigen der Druckkurve zeigt einen leicht zunehmenden Fließwiderstand innerhalb dieses Kluft- / Rissystems ab einer Distanz von ~ 15 m Entfernung an. Dieser Anstieg könnte darauf hindeuten, dass Kluft-/Rissysteme, die mehr als ~ 15 m entfernt von der Bohrung sind, hydraulisch etwas schlechter mit der Bohrung kommunizieren.

Die aus der Steigung der Phase 3 (Abbildung 5 unten) abgeleitete effektive Gebirgstransmissibilität respektive Gebirgspermeabilität beträgt $2 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3$ resp. $6 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2$.

Die maximale Eindringtiefe, die während des Auffüllversuchs (II) erreicht werden konnte, wird auf ca. 50 m geschätzt.

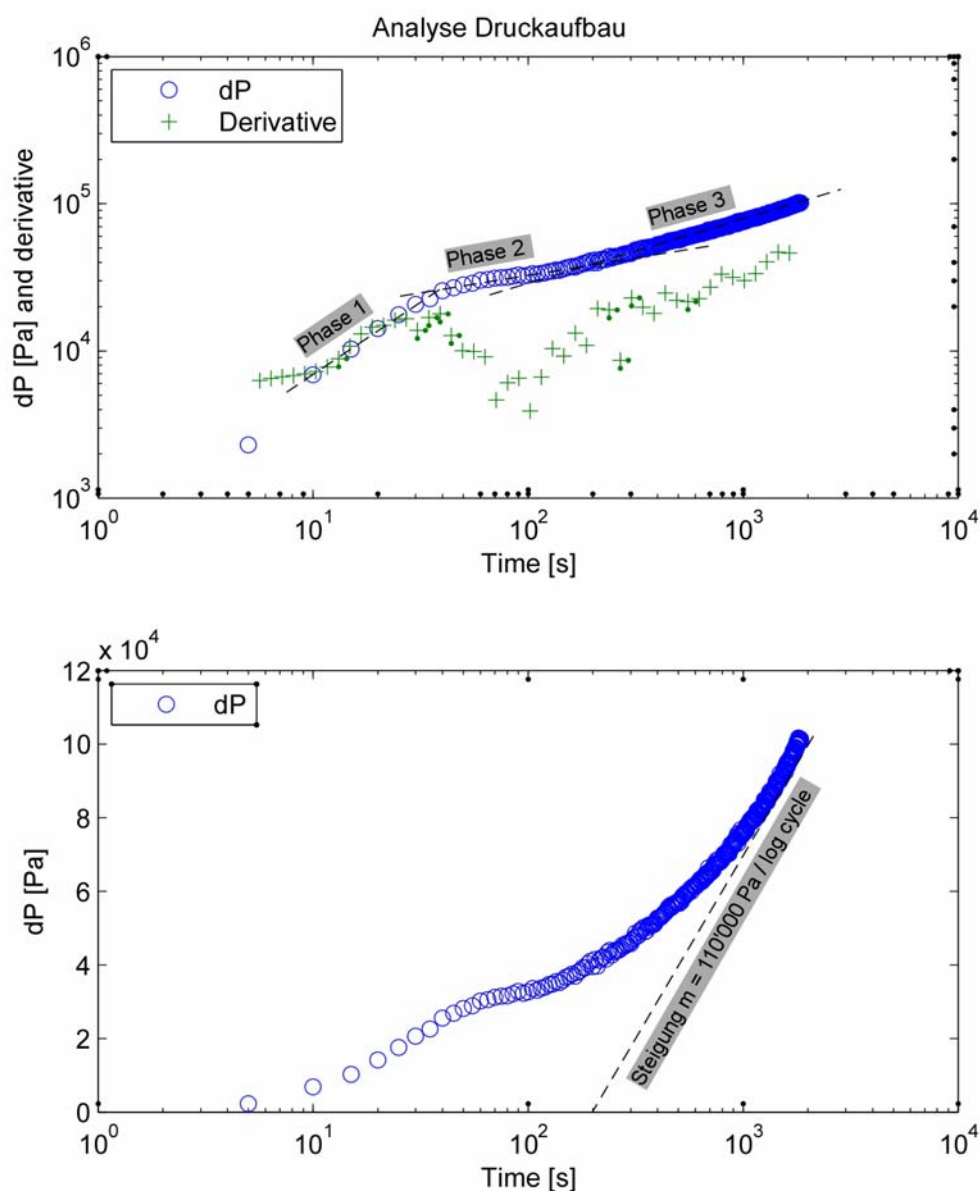


Abbildung 5: Diagnostische Plots für den Druckaufbau des Auffüllversuches (II). **Oben:** Log-Log Diagram mit Ableitung. **Unten:** Semilog Diagram des Druckanstieges. Die Auswertung wurde mit dem Code „hytool 1.2“ (by Philippe Renard, Universität Neuchâtel) gemacht.

4.4.2 Analyse und Interpretation der Druckerholung

Wie der Druckanstieg wurde auch die Druckerholung am Ende des Auffüllversuches (II) mit diagnostischen Plots ausgewertet (Abbildung 6). Der unterschiedliche Verlauf der Druckkurve und deren Ableitung zu Beginn deutet auf eine starke Beeinflussung durch Störeffekte hin. Diese Störeffekte stehen möglicherweise im Zusammenhang mit Entgasungen, die durch eine Druckentlastung aufgetreten sind.

Aus der Steigung m im Semilog Diagram (Abbildung 6 unten) kann die effektive Gebirgstransmissibilität resp. Gebirgsspermeabilität abgeschätzt werden: $7 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3$ resp. $2 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2$.

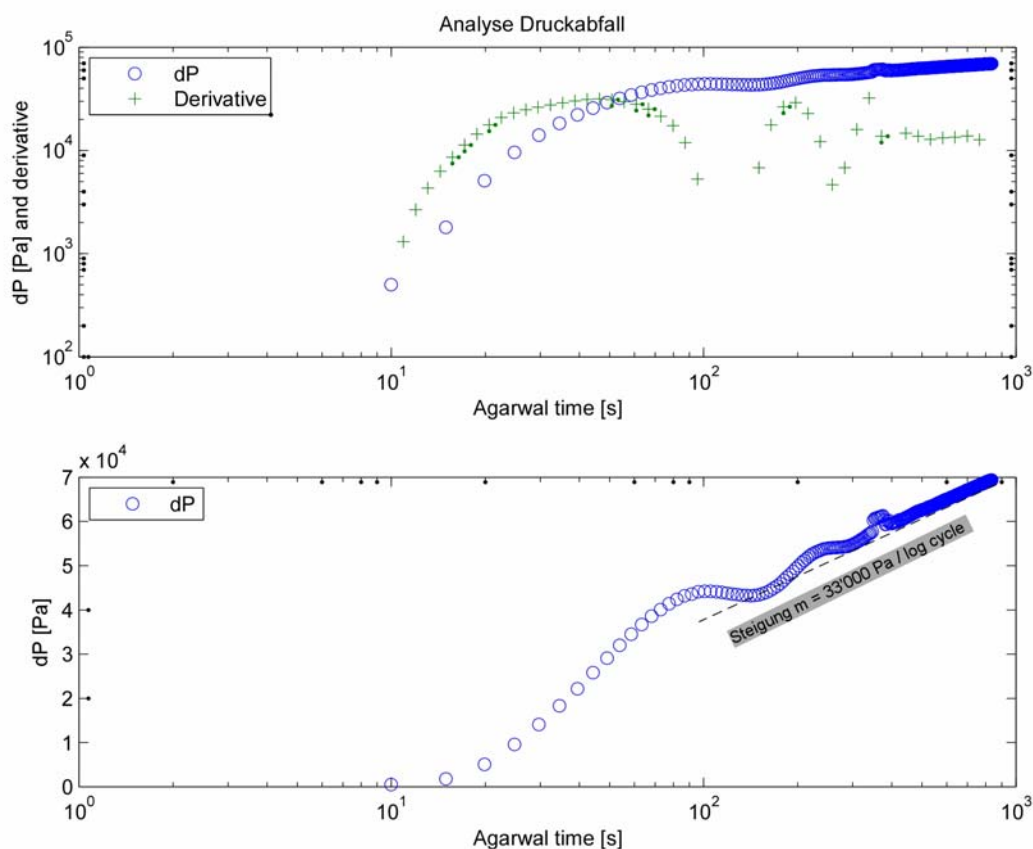


Abbildung 6: Diagnostische Plots für den Druckabfall am Ende des Auffüllversuches (II). **Oben:** Log-Log Diagram mit Ableitung. **Unten:** Semilog Diagram des Druckabfalls. Die Auswertung wurde mit dem Code „hytool 1.2“ (by Philippe Renard, Universität Neuchâtel) gemacht.

4.4.3 Reservoirdurchlässigkeiten vor und nach der Stimulation

Phase	Effektive Transmissibilität [m^3]	Effektive Permeabilität [m^2]
<i>Unstimuliertes Reservoirs (November 2006)</i>	$6 \cdot 10^{-15}$	$2 \cdot 10^{-17}$
<i>Druckanstieg Auffüllversuch (II) (Stimuliertes Reservoir Februar 2009)</i>	$2 \cdot 10^{-12}$	$6 \cdot 10^{-15}$
<i>Druckerholung Auffüllversuch (II) (Stimuliertes Reservoir Februar 2009)</i>	$7 \cdot 10^{-12}$	$2 \cdot 10^{-14}$
mit: $\mu = 0.25 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ (Viskosität Wasser bei 180°C) $h = 371 \text{ m}$ (Länge der offenen Bohrlochstrecke)		

Der Effekt der Stimulation im Jahre 2006 führte demnach zu einer Erhöhung der Reservoirdurchlässigkeit um einen Faktor von etwa 330 bis 1000. Damit wird unsere Vermutung, dass die Reservoirdurchlässigkeit irreversibel um einen Faktor von ~ 400 erhöht werden konnte, bestätigt wenn nicht sogar übertroffen. Von einem hydraulischen Standpunkt gesehen war die durchgeführte Stimulation deshalb erfolgreich.

Der Effekt der Stimulation im Jahre 2006 lässt sich auch anhand der Entwicklung der Injektivität veranschaulichen (Abbildung 7). Beim Pre-Stimulationstest im Jahre 2006 wurden bereits mit sehr geringen Injektionsraten beachtliche Kopfdrücke erreicht, was auf ein sehr gering durchlässiges Reservoir hingewiesen hat. Während der Stimulation wurden ein Kopfdruck von $\sim 115 \text{ bar}$ mit einer Injektionsrate von 340 l/min erreicht. Beim Auffüllversuch im Jahre 2009 wurde mit ähnlich hohen Fließraten ein Überdruck von weniger als 1 bar erreicht.

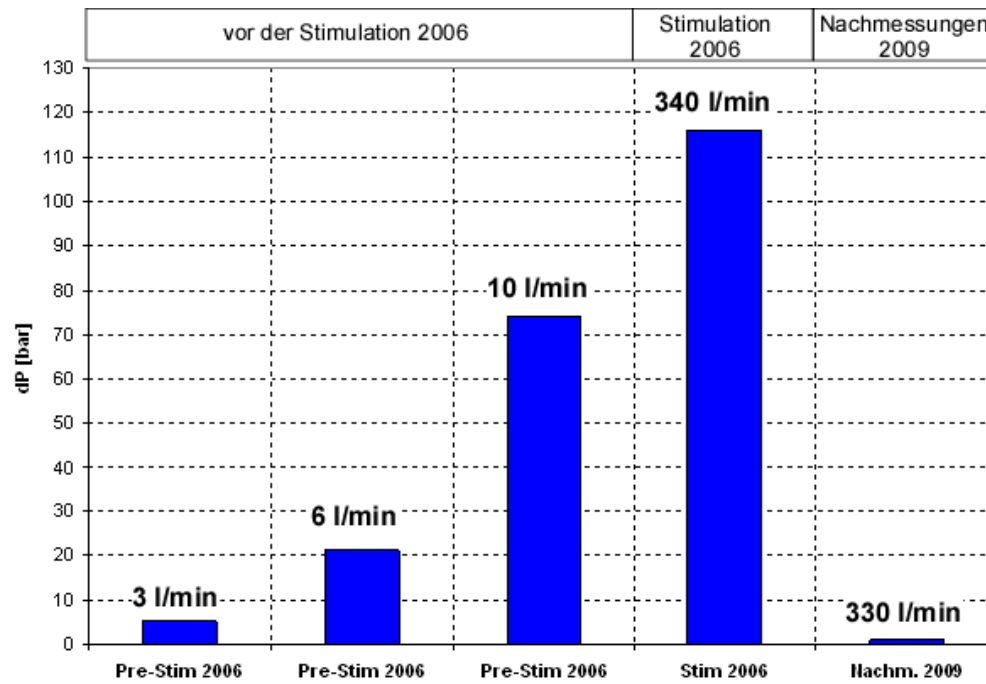


Abbildung 7: Entwicklung der Injektivität Basel 1 vor, während und nach der Stimulation.

5 Fördertest (I) & (II)

5.1 Organisation

<i>Organisation, Planung & Auswertung:</i>	<i>Geothermal Explorers Ltd</i>
<i>Messung:</i>	<i>SJ-Geotec / Geothermal Explorers Ltd</i>
<i>Durchführungsdatum:</i>	<i>13.02.2009 & 16.02.2009</i>

5.2 Messtechnik

<i>Druck-Messsonde:</i>	<i>Piezoresistiver Drucksensor Keller Serie 26 W</i> <i>Installiert bei -40 m ab OK X-mas tree</i>
<i>Messbereich:</i>	<i>0 – 5 bar</i>
<i>Auflösung:</i>	<i>< 0.025 bar</i>
<i>Unterwasserpumpe Grundfos SP 3A-25</i>	<i>Pumpeneinlass auf 40.7m ab OK X-mas tree</i> <i>Maximale Fördermenge ~ 76 l/min</i>

5.3 Durchführung

Die Unterwasserpumpe und die Steigleitung (Alu-Gestänge) wurden mit Hilfe eines Dreibeins auf ~ 40m Tiefe eingebaut. Die geförderte Menge wurde mit Hilfe eines Plastiktanks periodisch von Hand ausgelitert. Die Dauer des Fördertests (I) betrug 2 Std. 35 min. Dabei wurden ~ 10m³ Wasser gefördert. Die Dauer des Fördertests (II) betrug 1 Std. 26 min. Dabei wurden ~ 6.2m³ Wasser gefördert. Mit einem Lichtlot wurden periodisch Abstichmessungen vorgenommen.

Beim geförderten Wasser wurde periodisch Temperatur und elektrische Leitfähigkeit gemessen.

5.4 Resultate

Die Druckkurven der beiden Fördertests sind in den Abbildung 8 & 9 dargestellt. Bei beiden Fördertests machten sich Störeffekte wie Entgasung, Temperatur- und Dichteeffekte, Bohrlochspeichereffekt bemerkbar, die eine verlässliche Auswertung der Druckkurven verunmöglichen. So wurde beispielsweise beim Fördertest (I) kein „normaler“ Wiederanstieg zum ursprünglichen Wasserniveau beobachtet nachdem die Förderung eingestellt wurde. Beim Fördertest (II) wurde während der Förderphase sogar ein Anstieg des Wasserspiegels beobachtet.

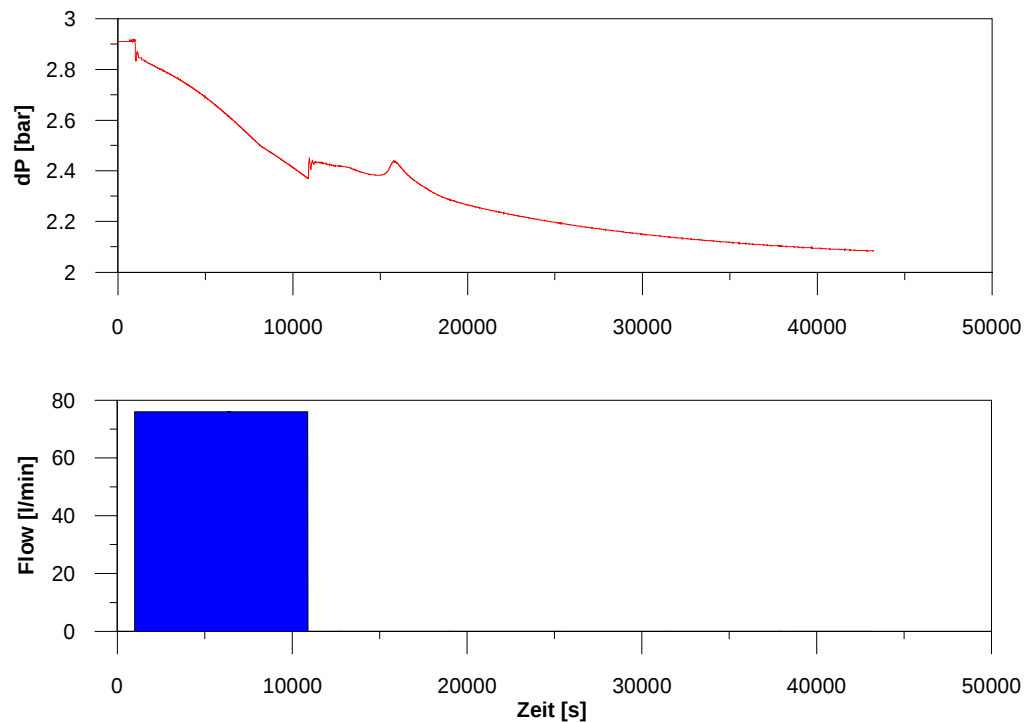


Abbildung 8: Druckverlauf (rote Linie) und Fördermenge (blaue Linie) während des Förder-tests (I).

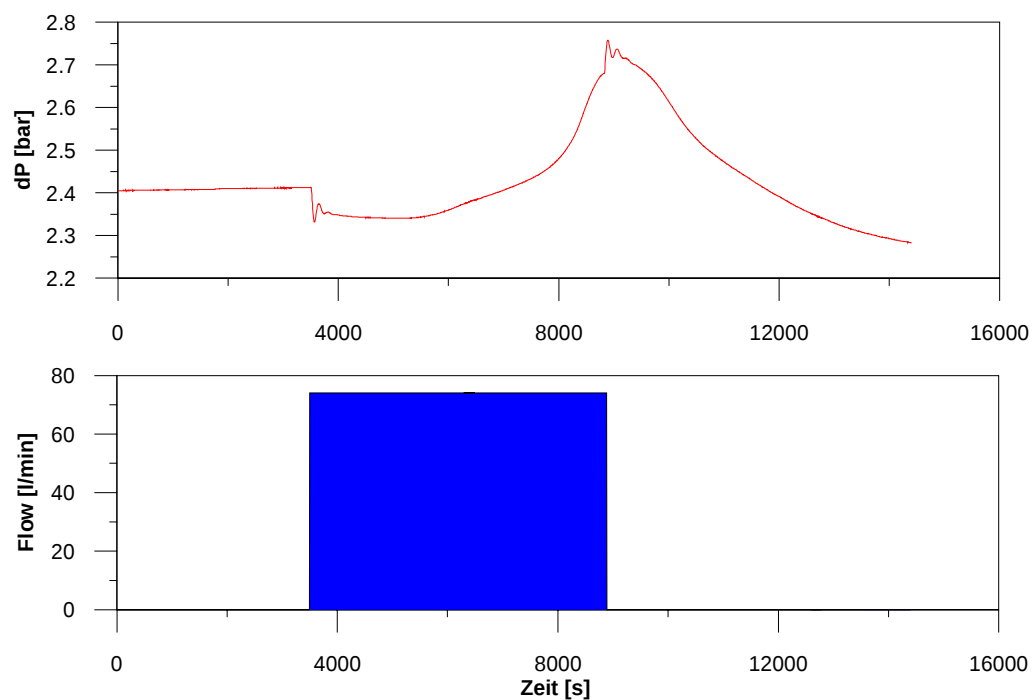


Abbildung 9: Druckverlauf (rote Linie) und Fördermenge (blaue Linie) während des Förder-tests (II).

In den Tabellen 1 & 2 sind die von Hand gemessenen Messwerte zusammengefasst. Die Lichtlotmessungen bestätigen den ungewöhnlichen Druckverlauf der beiden Fördertests.

Tabelle 1: Messwerte Fördertest (I) vom 13.Feb. 2009 in Basel 1.

Zeit	Zeitdifferenz	Grundwasser- spiegel	Absenkung	Förderrate	Temperatur	Leitfähigkeit
[hh:mm]	[s]	[m ab OK Ring]	[m]	[l/min]	[°C]	[mikroS/cm]
13:16	0	10.80	0.00			
13:25	540	11.63	0.83		17.0	429
13:30	840			80		
13:35	1140	11.80	1.00		17.2	435
13:40	1440	11.91	1.11		17.2	436
13:45	1740	12.04	1.24		17.2	437
13:50	2040	12.16	1.36		17.4	438
13:58	2520			77	17.5	439
14:04	2880	12.50	1.70		17.7	439
14:15	3540	12.79	1.99		18.8	442
14:30	4440	13.28	2.48		18.4	449
14:45	5340	13.79	2.99		19.0	489
14:54	5880			77		
14:56	6000				19.5	709
15:03	6420	14.49	3.69		20.0	1420
15:05	6540	14.59	3.79		20.0	1779
15:12	6960				20.2	6150
15:15	7140	14.97	4.17		20.0	6330
15:30	8040	15.37	4.57		20.9	29300
15:45	8940	15.80	5.00	77	21.2	29800
16:00	9840	16.24	5.44		21.7	29800

Tabelle 2: Messwerte Fördertest (II) vom 16.Feb. 2009 in Basel 1.

Zeit	Zeitdifferenz	Grundwasser- spiegel	Absenkung	Förderrate	Temperatur	Leitfähigkeit
[hh:mm]	[s]	[m ab OK Ring]	[m]	[l/min]	[°C]	[mikroS/cm]
10:04	0	16.60	0.00	74	16.4	21900
10:10	360	16.64	0.04		16.8	26300
10:20	960	16.66	0.06		16.9	28800
10:30	1560	16.61	0.01		16.9	29100
10:40	2160	16.27	-0.33		17.0	27900
10:50	2760	15.82	-0.78		17.2	28400
11:00	3360	15.43	-1.17	72	17.4	28400
11:10	3960	14.92	-1.68	77	17.6	29000
11:28	5040	11.35	-5.25			
11:30	5160	10.30	-6.30	0		
11:35	5460	10.20	-6.40	0		
11:40	5760	10.91	-5.69	0		
12:25	8460	15.99	-0.61	0		
13:05	10860	17.37	0.77	0		

6 Schlussfolgerungen

Sowohl die Temperaturmessung wie auch die verschiedenen hydraulischen Bohrlochversuche haben neue und wichtige Erkenntnisse über die Verhältnisse in der Bohrung und des stimulierten Reservoirs gebracht:

- 1) Die durchgeführten Messungen haben zu keiner messbaren seismischen Aktivität im Reservoirbereich geführt.
- 2) Die maximal gemessene Temperatur bei 4'600 m Tiefe betrug 173.7°C. Auf Endtiefe von 5'000 m erwarten wir eine Temperatur von 185°C.
- 3) Im obersten Bereich des kristallinen Grundgebirges zwischen 2'600 – 3'000 m, wo Temperaturen von 115°C – 130°C gemessen wurden, weisen wechselhafte Temperaturgradienten auf eine Wasserwegsamkeit entlang vorhandener Trennflächen hin. Ein hydraulischer Bohrlochversuch, der den obersten Bereich des kristallinen Grundgebirges testet, würde Auskunft über die tatsächlich förderbaren Wassermengen liefern. Dazu ist aber eine Perforation der Verrohrung in diesem Bereich notwendig.
- 4) Im unteren Bereich des kristallinen Grundgebirges (3'000 – 5'000 m) dominiert ein konduktiver Wärmefluss, was auf eine geringe natürliche Wasserzirkulation im Bereich der Bohrung Basel 1 hinweist.
- 5) Der Auffüllversuch (II) lieferte als einziger Versuch auswertbare Messdaten. Beim Auffüllversuch (I) war die eingesetzte Fließrate zu gering um eine auswertbare Druckantwort zu bewirken. Bei den beiden Fördertests verhinderten die aufgetretenen Störeffekte (insbesondere durch Entgasung) eine verlässliche Auswertung der Messdaten.
- 6) Die ermittelte effektive Gebirgstransmissibilität bewegt sich in einem Bereich zwischen $2 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3$ und $7 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3$. Die ermittelte effektive Gebirgspерmeabilität bewegt sich in einem Bereich zwischen $6 \cdot 10^{-15} \text{ m}^3$ und $2 \cdot 10^{-14} \text{ m}^3$.
- 7) **Damit bewirkte die Stimulation im Jahre 2006 eine Erhöhung der Reservoirdurchlässigkeit um das 330 bis 1000-fache.**
- 8) Basierend auf den ermittelten hydraulischen Eigenschaften des stimulierten Reservoirs kann erwartet werden, dass bei einer Absenkung von 300 m mindestens 24 l/s produziert werden können, falls keine zusätzlichen Fließwiderstände auftreten. In diesem Zusammenhang ist das hydraulische Verhalten der Bohrlochblockade bei 4'700 m Tiefe zu prüfen.
- 9) Die Frage einer thermischen Nutzung des Reservoirs kann nicht beantwortet werden. Obwohl durch die Stimulation günstige hydraulische Bedingungen im Reservoir geschaffen werden konnte, muss aufgrund des volumenmässig wahrscheinlich zu kleinen Reservoirvolumens eine langfristige thermische Nutzung in Frage gestellt werden.
- 10) Die hydraulischen Bohrlochmessungen haben gezeigt, dass Auffüllversuche bezüglich der Ausführung leichter und kostengünstiger durchzuführen sind und bezüglich Aussagekraft verlässlichere Informationen liefern als Fördertests.