

Strategie für den Betrieb des Reservoirs Geothermie Anlage Ittigen-A

Bauherrschaft: Name
12.03.2018

Reservoir Ingenieur: Name
Geologe: Name
Projektleitung: Name

Bei diesem Dokument handelt es sich lediglich um ein Beispiel, das als Vorlage für die «Strategie für den Betrieb des Reservoirs» für den Betrieb von Tiefengeothermieprojekten dienen soll. Dieses Dokument dient den Kantonen als Information bei der Regulierung der Tätigkeiten in der Tiefengeothermie.

Der Detaillierungsgrad eines solchen Dokuments muss den Gefahren und Risiken im Zusammenhang mit dem Betrieb der Bohrungen entsprechend angepasst werden.

Der Inhalt dieses Dokuments ist fiktiv und muss durch reale Angaben ersetzt werden.

1	Allgemeine Angaben	3
1.1	Angaben zum Reservoir	3
1.2	Allgemeine Strategie	3
2	Bewertung und Beschreibung des Grundwasserleiterreservoirs	3
2.1	Umfang und Grenzen des Reservoirs	3
2.2	Reservoir und Eigenschaften des Reservoirfluids (Wasser)	5
2.3	Temperatur und Energie	6
2.4	Reservoir Model	7
3	Bewirtschaftung des Reservoirs	9
3.1	Ausgangslage	10
3.2	Strategie und Bedingungen für den Betrieb	10
3.3	Betriebsbeschränkungen	12
3.4	Überwachung des Reservoirs	13
3.5	Prozess zur Bewirtschaftung des Reservoirs	13
4	Team für die Bewirtschaftung des Reservoirs	14
5	Bohrungen	14
5.1	Produktionsbohrung	15
5.2	Injektionsbohrung	15

Abkürzungen

MD = measured depth = gemessene Tiefe

TVD = True vertical depth = effektive Vertikalteufe

RKB = Rotary Kelly Bushing = Verbindungsstück zwischen Drehtisch und Kellystange

GL = Ground Level = Bodenhöhe

TD = Total Depth = Gesamttiefe

BOP = Blowout-Preventer

s.g. = standard gravity = Standardschwerkraft (für eine Flüssigkeit: Verhältnis zwischen Dichte der Flüssigkeit und Dichte des Wassers)

Logging = Messungen in der Bohrung, auch Diagrafie genannt

Wireline = Kabel für das Herunterlassen der Ausrüstung in die Bohrung

Liner = im oberen Rohr (und nicht am Bohrkopf) verankertes Rohr

Linerkopf = Vorrichtung zur Fixierung des Liners

Packer = Ausrüstung aus Elastomer zur Isolation zwischen zwei Rohrtouren

Kick = nicht kontrollierter Einstritt von Fluiden in das Bohrloch (Wasser, Gas usw.)

Mudlogging = Messen von Bohrspülungsparametern. Oder etwas allgemeiner: Messen sämtlicher Parameter (Untersuchung Bohrklein, Volumen, Temperaturen, usw.), die in Echtzeit zur Steuerung des Bohrprozesses benutzt werden.

1 Allgemeine Angaben

1.1 Angaben zum Reservoir

Konzessionsnummer: BE-99877-ITTG-2019

Installation: Ittigen-A, Geothermiestrasse 23, 3063 Ittigen, Bern

Konzessionsgebiet: 50 km²

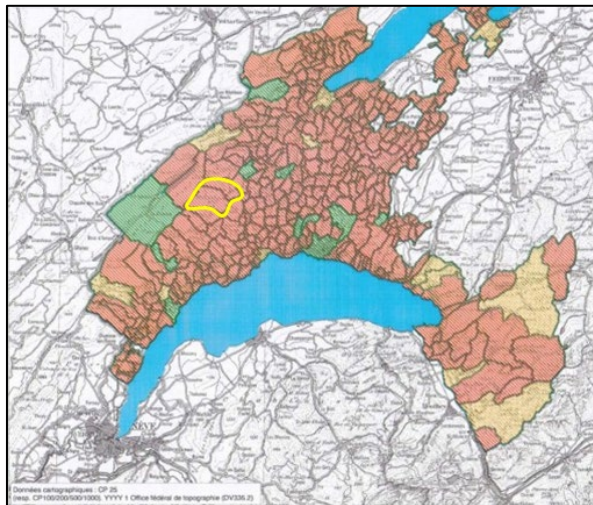
Beginn und Ende der Konzession: 01.02.2018–01.01.2023

Bauherrschaft: Ittigen Geothermie AG

Geologische Struktur: Ittigen-Massiv – Molassebecken/Voralpen

Betriebsbohrloch: Ittigen-01 (Injektion), Ittigen-02 (Produktion), Ittigen-03 (Injektion)

Konzessionskarte: siehe unten



Quelle: Geothermie Potenzial des Kantons Waadt

1.2 Allgemeine Strategie

Die allgemeine Betriebsstrategie der Konzession BE-99877-ITTG-2019 besteht darin, unter Druck stehendes geothermales Wasser über die Bohrung Ittigen-02 zu erzeugen, bis 7000 m³/Tag, Wärme von 140 Grad bis auf 72 Grad zu entziehen und das Wasser über die Bohrung Ittigen-01 und Ittigen-03 wieder zu injizieren.

Das Wasser muss über zwei Bohrungen wieder eingeleitet werden, um:

- Einen langfristigen Betrieb des Reservoirs (für 40 Jahre geplant) zu gewährleisten, bei dem das Risiko einer Kaltwasserfront minimiert wird.
- Den Druck bei der Injektion in das Reservoir sowie das Risiko, bestehende Brüche zu reaktivieren, zu begrenzen.

Die Oberflächenanlage wird 9 MW Strom und Wärme für die Gemeinde Ittigen erzeugen.

Die Parameter des Grundwasserleiterreservoirs wurden während des langen Produktionstests, der beim Bohren der Bohrung Ittigen-01 durchgeführt wurde, beurteilt.

2 Bewertung und Beschreibung des Grundwasserleiterreservoirs

2.1 Umfang und Grenzen des Reservoirs

Das Reservoir befindet sich im Ittigen-Massiv. Die geologische Formation des Reservoirs erstreckt sich über rund 24 km auf der Nord-Süd-Achse und über 130 km auf der Ost-West-Achse.

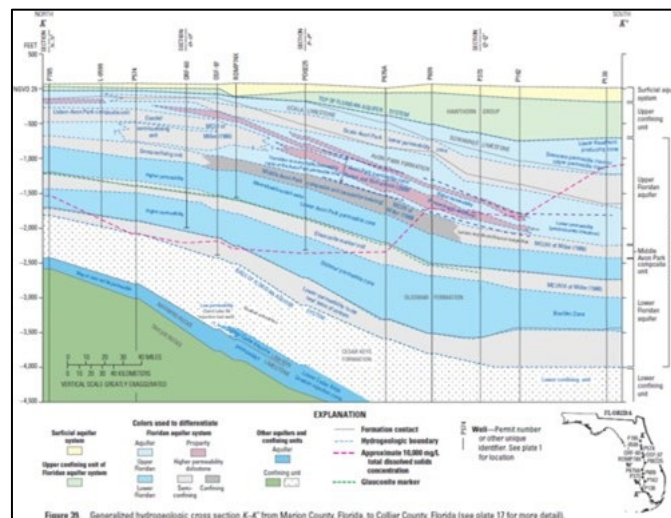
Seine Dicke variiert von einigen Metern bis zu 40 m im Westen und nimmt im Osten auf bis zu 200 bis 300 m zu, wo es sich unter die Alpen erstreckt. Am Standort der Geothermie Anlage beträgt die Dicke des Reservoirs rund 130 bis 160 m.

Die allgemeine Neigung beträgt 4 Grad und verläuft in nordöstlicher Richtung. In der Nähe der östlichen Grenze des Reservoirs nimmt diese Neigung progressiv auf bis zu 24 Grad zu.

Das Reservoir hat eine regionale Ausdehnung und wird als viel grösser beurteilt als die vorgesehene Betriebszone.

Geologischer Schnitt:

Die folgenden geologischen Schnitte veranschaulichen das Reservoir und seine Ausdehnung im Detail: mit einem Nord-Süd-Schnitt, einem Ost-West-Schnitt und einer 3-D-Ansicht.



Quelle: wikipedia.org

Volumen des Reservoirs:

Das Volumen des Reservoirs wird auf 20 Millionen m³ geschätzt. Der grösste Teil dieser Kapazität befindet sich im östlichen Teil, wo die Dicke des Reservoirs über 150 m und die Porosität über 15 % beträgt.

Reservoir Druck:

Der natürliche Druck des Reservoir Grund Wasserleiters liegt leicht über dem hydrostatischen Druck: 1,8 s.g. auf 2240 m TVD GL = 237 bar (Standort der Geothermie Anlage).

Natürlicher Transit:

Es besteht ein natürlicher Wasserfluss durch das Reservoir: Mit einer Auffüllung in den Voralpen fliesst das Wasser durch tiefe Grundwasserleiter und dringt an der östlichen Grenze in das Ittigen-Massiv ein. Anschliessend durchfliesst das Wasser das Massiv in süd- bis südöstlicher Richtung. Die Fliessgeschwindigkeit wird, obwohl sie ungewiss ist, mit 12 bis 24 m pro Jahr angenommen.

Regionale Konnektivität:

Es wurde festgestellt, dass der Reservoirgrundwasserleiter an seiner östlichen Grenze mit dem tiefen Grundwasserleiter des Matterhorns in Verbindung steht. Im Süden wird eine beschränkte Konnektivität mit dem untiefen Grundwasserleiter von Bern erwartet.

Diese Konnektivitäten werden im Detail in Kapitel 3.3, Betriebseinschränkungen, vorgestellt.

Daten:

Diese Beschreibung basiert auf der erweiterten geologischen Beurteilung, die seit 1960 vom Kanton Bern, durch xx et al., durch xx et al. usw. vorgenommen wurde.

Ausserdem haben es das vor Kurzem erfolgte Bohren der Bohrung Ittigen-01 (2018) und die durchgeführten Produktionstests erlaubt, die Daten von Volumen, Drücken, Eigenschaften und Konnektivität des Reservoir Grund Wasserleiters zu verfeinern.

Unsicherheiten:

- Obwohl das Volumen des Reservoirs präzise ermittelt wurde, bestehen immer noch Unsicherheiten die genaue Verteilung dieses Volumens innerhalb der geologischen Formation betreffend.
- Es gibt immer noch Unsicherheiten in Bezug auf die Qualität der Konnektivität des Reservoirs mit dem Matterhorn-Grundwasserleiter.
- Ebenso bestehen Unsicherheiten in Bezug auf das Vorhandensein feiner, undurchlässiger Schieferschichten im Reservoir, die den Betrieb langfristig beeinträchtigen könnten. Sie könnten die vertikalen Abflüsse begrenzen und die horizontalen Abflüsse intensivieren usw.

Folgende Punkte könnten ebenfalls in Betracht gezogen werden:

- Nutzung seismischer Daten für die Kartierung des Reservoirs

2.2 Reservoir und Eigenschaften des Reservoirfluids (Wasser)

Porosität:

Die Porosität im Reservoir schwankt zwischen 8 und 22 %.

Es wird davon ausgegangen, dass der östliche Teil mit einer Porosität zwischen 19 und 22 % die besseren Eigenschaften aufweist. Die Porosität im westlichen Teil wurde auf 14 bis 17 % tiefer geschätzt.

Auf einer vertikalen Skala wurden geringe Porositätsveränderungen festgestellt, und es wurden in den Bohrungen Ittigen-01 und Ittigen-02 keine signifikanten Veränderungen festgestellt.

Permeabilität:

Die Permeabilität wurde geschätzt zwischen:

- 150 mD und
- 600 mD

Es wurde festgestellt, dass die Permeabilität von der Tiefe abhängt. Der obere Teil des Grundwasserleiterreservoirs liegt bei rund 500 mD. An der östlichen Grenze fällt die Formation mit einer Neigung von bis zu 24 Grad ab und verbreitert sich beträchtlich, mit einer geringeren Permeabilität, die hauptsächlich auf das Litho statische Gewicht der Voralpen zurückzuführen ist.

Es wird davon ausgegangen, dass der Fluidfluss im Grundwasserleiter ohne diese Reduzierung viel höher wäre und so zu einer geothermalen Anomalie mit noch höheren Temperaturen führen würde.

Brüche:

Im Norden wird ein Bruch im Kilometerbereich aufgrund der Beobachtungen an der Oberfläche als isolierend erachtet. Er befindet sich in der Nähe der Grenze des Massivs, weshalb sein Einfluss auf das Reservoir Volumen als äusserst gering eingestuft wird.
usw.

Eigenschaft des Reservoirfluids:

Dank der guten allgemeinen Permeabilität werden die Eigenschaften des Wassers im Reservoir über das gesamte Reservoir betrachtet als homogen erachtet.

Während der Produktionstests wurden die folgenden durchschnittlichen Eigenschaften gemessen:

Dichte	1,05 s.g.
pH	6,6
Natrium	220 mg/l
Magnesium	220 mg/l
Cadmium	220 mg/l
Kalium	220 mg/l
Bicarbonat	220 mg/l
Sulfat	220 mg/l
CO₂	1,210 ppm
usw.	

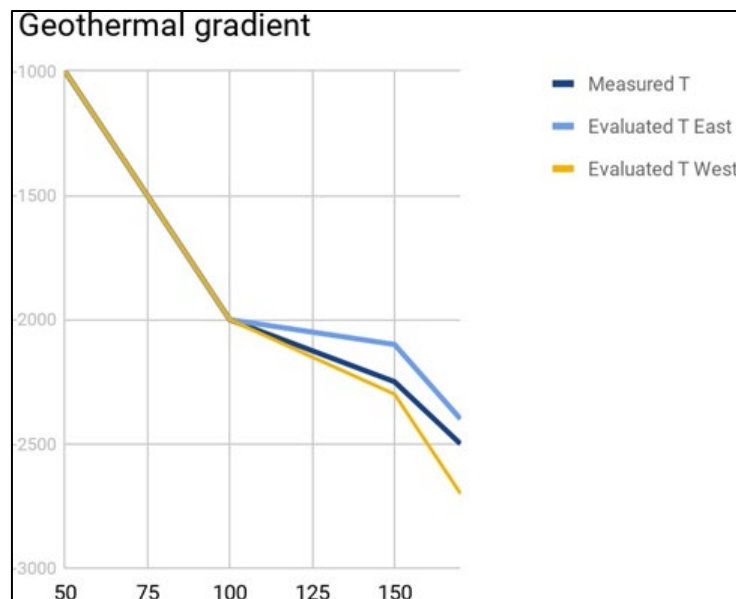
Wegen seiner Zusammensetzung birgt das Wasser im Reservoir für die Bohrungen und die Oberflächenanlagen ein Korrosions- und Ablagerungsrisiko. Auf diese Überlegungen wird in der «Strategie für den Betrieb der Bohrungen» detailliert eingegangen.

Unsicherheiten:

- Es bestehen weiterhin Unsicherheiten in Bezug auf den Quotienten der vertikalen/horizontalen Permeabilität. Die Produktionstests in verschiedenen Teilen der Bohrung haben es nicht erlaubt, über Änderungen der vertikalen Permeabilität Aufschluss zu geben.
- Beim Vorhandensein leitender oder isolierender Brüche im Reservoir bleiben ebenfalls Unsicherheiten bestehen. Obwohl die Beobachtungen an der Oberfläche das Vorhandensein von Brüchen nahelegen, haben die Produktionstests ergeben, dass im Reservoir nur kleine Brüche mit beschränkten Auswirkungen auf die Abflüsse vorliegen.
- usw.

2.3 Temperatur und Energie

Der gemessene Temperaturgradient und seine Entwicklung in den anderen Teilen des Reservoirs werden nachfolgend dargestellt:



Für die evaluierten Gradienten wird von Unsicherheiten unter 10 % ausgegangen. Energiepotenzial:

Die Energie im Zusammenhang mit der rückgewinnbaren Wärme des Wassers wird geschätzt auf:

- Volumen des Reservoirs: 6,109 m³
 - Durchschnittliche Porosität (20 %): 1,2 10⁹ m³
 - Drainagebereich der Produktionsbohrung (2 %): 2,4 10⁷ m³
- Rückgewinnbare Wärme des Wassers = 3,17 10¹² kJ (8,8 10⁸ kW/h)

Unter Berücksichtigung des Abflusses des wieder injizierten (kalten) Wassers findet die Wärmeübertragung zwischen Gestein und Wasser statt, und die damit verbundene Energie wird geschätzt auf:

- Volumen des Reservoirs: 6,109 m³
- Durchschnittliches Volumen des Gesteins (80 %): 4,8 10⁹ m³
- Volumen des betroffenen Gesteins (0,5 %): 2,4 10⁷ m³
- Rückgewinnbare Wärme des Gesteins = 3,17 10¹² kJ (8,8 10⁸ kW/h) usw.

Der natürliche Wärmefluss im Untergrund auf Ebene des Reservoirs wird geschätzt auf: 0,12 Wm⁻². Die rückgewinnbare Wärme dieses Flusses wird geschätzt auf:

- ...

Folgende Punkte könnten ebenfalls berücksichtigt werden:

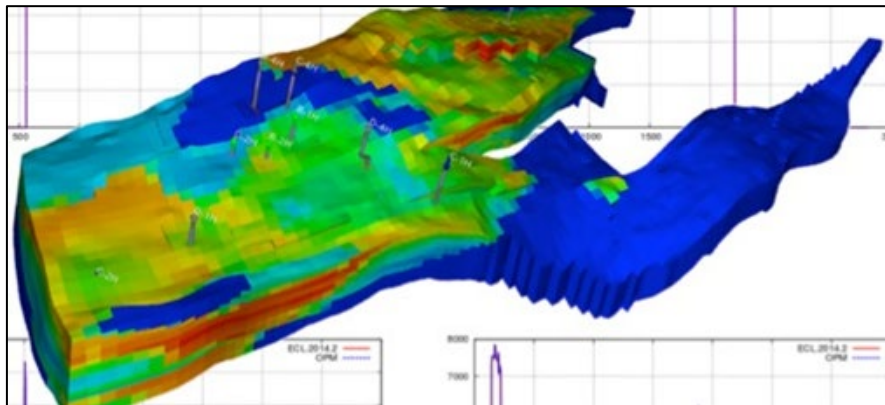
- Total enthaltene Energie / Rückgewinnungskoeffizient
- Ressource an Grundwärme / Ressource an effektiver Wärme
- Die zur Bewertung des Energiepotenzials verwendete Methode (Wärmeflüsse, volumetrisches Verfahren, digitale Simulation usw.)

2.4 Reservoir Model

Für die Strömungssimulationen wurden zwei Modelle genutzt. Folgende Software wurde für die Simulationen eingesetzt: xxxx.

- Kleines Modell: 8 km × 8 km × 300 m.
- Dieses Modell besteht aus rechteckigen horizontalen Blöcken. Die Grösse der Blöcke wird in der Nähe der Bohrungen verfeinert.
- Das Modell wird verwendet, um die Eigenschaften des Reservoirs mit den Messwerten (Durchfluss, Druck, Temperatur) zu kalibrieren und das Verständnis des Reservoirs zu verbessern.
- Details des Modells:
- Anzahl Blöcke: xxxx Millionen
- Die betrachteten Brüche sind ... (isolierend) und (leitend)
- Die berücksichtigten Grenzen sind ...
- Bei den dargestellten geologischen Formationen handelt es sich um ...
- usw.

Im Folgenden wird eine Bildschirmkopie des Reservoir Modells eingefügt.

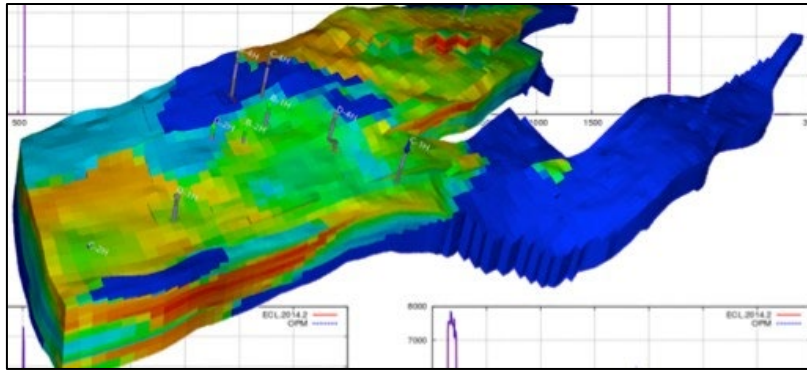


Quelle: opm-project.org (kostenlose Lizenz)

Regionales Modell: 50 km × 20 km × 600 m.

- Dieses Modell basiert auf den geologischen Formationen. Die Blöcke folgen der Geometrie der geologischen Formationen.
- Dieses Modell wird verwendet, um die Auswirkungen der Produktion und der Injektion der Geothermie Anlage auf die benachbarten Grundwasserleiter zu verstehen und sicherzustellen, dass sie keine negativen Auswirkungen haben.
- Details des Modells:
- Anzahl Blöcke: xxxx Millionen
- Die betrachteten Brüche sind ... (isolierend) und (leitend)
- Die berücksichtigten Grenzen sind ...
- Bei den dargestellten geologischen Formationen handelt es sich um ...
- usw.

Im Folgenden wird eine Bildschirmkopie des Reservoir Modells eingefügt



Quelle: opm-project.org (kostenlose Lizenz)

Unsicherheiten:

- Zu Beginn des Betriebs wurden die Kenntnisse des Reservoirs aus den Daten abgeleitet, die beim Bohren, sowie aus den Daten der Produktionstests gewonnen wurden. Während die Eigenschaften in der Nähe der Bohrungen gut bekannt sind, sind die Eigenschaften des restlichen Reservoirs mit Makrowerten, die ein höheres Unsicherheitsniveau aufweisen, assoziiert.
- Es wurde festgestellt, dass nach einigen Jahren des Betriebs die Verbesserung des Reservoir Modells solide genug ist, um die Betriebsgrenze des Reservoirs (Eintreten von Kaltfronten in die Produktionsbohrung) genau berechnen zu können.
- Die Konnektivität mit den benachbarten Grundwasserleitern ist mit einem bestimmten Unsicherheitsgrad behaftet, der dank der Produktionsdaten langfristig verringert werden könnte. Dieses erlaubt es, die Reaktion dieser Grundwasserleiter genauer zu messen. Je nach den Ergebnissen könnte sich die Überwachung der angrenzenden Grundwasserleiter als notwendig erweisen.
- usw.

Folgende Punkte könnten ebenfalls in Betracht gezogen werden:

- Präsentation der Studien, die für die Konnektivität zwischen regionalen Grundwasserleitern verwendet wurden
- ...

3 Bewirtschaftung des Reservoirs

Folgende Punkte könnten berücksichtigt werden:

- Ausgangsbedingungen sowie Bedingungen an den Grenzen des Reservoirs
- Das Vorhandensein eines erneuerbaren Betriebs: Die injizierte Flüssigkeit wird vom Gestein auf die ursprüngliche Temperatur erwärmt. So kann der Betrieb auf unbestimmte Dauer erfolgen.
- Die Existenz eines nachhaltigen Betriebs: Das Fluid wird nicht auf seine ursprüngliche Temperatur erwärmt, jedoch kann das Reservoir über mehrere Jahrzehnte betrieben werden, ohne die künftigen Entwicklungen in der Region zu beeinträchtigen.
- Darlegen spezifischer Erwägungen im Falle des nicht-Reinfizierens des Fluids, um sicherzustellen, dass die Wasserabscheidung keine negativen Auswirkungen auf den natürlichen Durchfluss, das piezometrische Niveau, die Konnektivität zu anderen Grundwasserleitern hat,– kurz- wie langfristig.

3.1 Ausgangslage

Die geothermale Temperatur des Wassers auf der Oberseite des Reservoirs wird geschätzt auf:

$$T_{\text{geothermal}} = 138,4 \text{ Grad Celsius auf } 2240 \text{ m TVD GL}$$

Der geothermale Druck des Wassers am Eingang zum Reservoir wird geschätzt auf:

$$P_{\text{geothermal}} = \text{hydrostatischer Druck} + 22 \text{ bar} = 237 \text{ bar auf } 2240 \text{ m TVD GL}$$

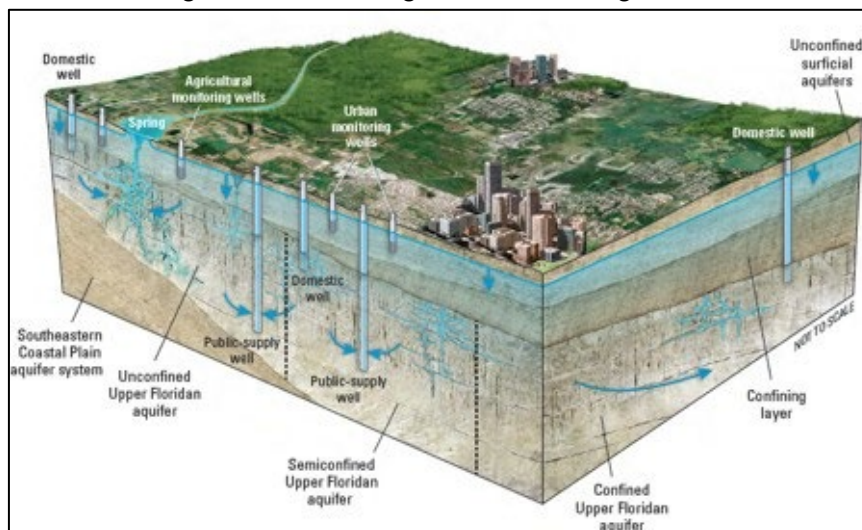
Der natürliche Durchfluss im Reservoir wird geschätzt auf:

$$V_{\text{natürlich}} = 2 \text{ cm/Tag in Richtung West-Nordwest}$$

Beschreibung der Bohrungen:

- Produktionsbohrung Ittigen-02, gebohrt auf 2400 m TVD GL, abgelenkt nach Osten (Azimut 130 Grad) bis 620 m vom Bohrlochkopf.
- Injektionsbohrung Ittigen-01, gebohrt auf 2800 m TVD GL, abgelenkt nach Westen (Azimut 260 Grad) bis 700 m vom Bohrlochkopf.
- Injektionsbohrung Ittigen-03, gebohrt auf 2850 m TVD GL, abgelenkt nach Südwesten (Azimut 215 Grad) bis 750 m vom Bohrlochkopf.

Das Reservoir, die Bohrungen und die Anlage werden im folgenden Schema dargestellt:



Quelle: Wikipedia

Bezugspunkt für die Anlage ist der Standort des Bohrlochkopfs der Produktionsbohrung Ittigen-02:

Geografische Koordinaten: Breitengrad: 42 Grad 12' 02" N (+ Referenz, ex WGS84)

Längengrad: 7 Grad 01' 31" E

UTM-Koordinaten: Nord: 5 118 227 m (UTM-Zone: 32T)

Ost: 347 647 m

Adresse: Geothermiestrasse 34, 3063 Ittigen, Kanton Bern

3.2 Strategie und Bedingungen für den Betrieb

Die Strategie für den Betrieb des Reservoirs besteht darin, jegliches produzierte Wasser wieder zu injizieren, sobald der Wärmetausch stattgefunden hat, um das Massengleichgewicht des Fluids im Reservoirgrundwasserleiter zu wahren.

Der Unterdruck rund um die Produktionsbohrung und der Überdruck rund um die Injektionsbohrung werden überwacht.

Die Injektionsstrategie sieht vor, die kältere Flüssigkeit möglichst weit von der Produktionsbohrung entfernt einzuleiten, wobei die isolierenden natürlichen Brüche im Reservoir genutzt werden. So wird die Strecke zwischen der Injektionsbohrungen und der Produktionsbohrung maximiert, wobei die Förderanlage im normalen Funktionsbereich betrieben wird.

Betriebsziel:

Die Produktionsbohrung Ittigen-02 wird betrieben:

- Zieldurchsatz: 6000 m³/Tag
- Maximaler Unterdruck im Reservoir (Absenkung): 60 bar
- Die Ergebnisse der Simulationen zeigen einen Unterdruck von 53 bar bei 6000 m³/Tag
- Die Ergebnisse der Simulationen zeigen eine Oberflächentemperatur von 139 Grad Celsius

Die Injektionsbohrung Ittigen-01 wird betrieben:

- Zieldurchsatz: 3000 m³/Tag
- Maximaler Überdruck im Reservoir: 41 bar
- Die Ergebnisse der Simulationen zeigen eine Injektionstemperatur an der Oberfläche von 76 Grad Celsius

Die Injektionsbohrung Ittigen-03 wird betrieben:

- Zieldurchsatz: 3500 m³/Tag
- Maximaler Überdruck im Reservoir: 45 bar
- Die Ergebnisse der Simulationen zeigen eine Injektionstemperatur an der Oberfläche von 76 Grad Celsius

Es wurde als notwendig erachtet, die beiden Injektoren mit unterschiedlichem Drücken und Injektionsvolumen zu betreiben, um die Reaktion des Grundwasserleiters unter verschiedenen Bedingungen beobachten zu können und um in der Lage zu sein, den Einfluss des von jeder Bohrung erzeugten Drucks zu erkennen.

Jährlicher Stopp:

Jedes Jahr im Sommer ist ein einwöchiger Stopp geplant, um die Oberflächenanlage zu warten und zu inspizieren. Diese Stopps erlauben es, die Reaktion des Reservoirs während eines Produktions-/Injektionsstopps zu erfassen und die Konnektivität innerhalb des Reservoirs und möglicherweise mit den angrenzenden Grundwasserleitern zu verstehen.

Betroffenes Gebiet:

Das Grundwasserleiterreservoir hat eine regionale Grösse, die weit über die vorgesehene Betriebszone hinausgeht. Der Teil des Reservoir Grund Wasserleiters, der vom Betrieb betroffen ist, wurde geschätzt auf:

- 10 %, von Abflüssen betroffen
- 35 %, von Druckänderungen (>1 bar) betroffen

Die restlichen 65 % des Grundwasserleiters werden den Einschätzungen zufolge nur am Rande vom Betrieb tangiert.

Folgende Punkte könnten berücksichtigt werden:

- Auswirkungen auf den natürlichen Wasserfluss im Reservoir.

3.3 Betriebsbeschränkungen

Grenzen der Injektion:

Die Ergebnisse der durchgeführten Simulationen haben gezeigt, dass das produzierte Wasser über zwei Injektionsbohrungen wieder injiziert werden muss, um den Injektionsdruck im Reservoir unter 45 bar zu halten (Grenzdruck gemäss den Kriterien der induzierten Seismizität).

Obwohl dieses Kriterium als konservativ gilt, bestehen weiterhin Unsicherheiten bezüglich des Vorhandenseins von Brüchen, ihrer Ausrichtungen sowie des Spannungsfelds, dem sie ausgesetzt sind.

Daher wird die seismische Überwachung mit der Überwachung des Reservoirs gekoppelt, um die Restriktionen im Reservoir zu verstehen und zu begreifen, wie sie durch die Produktion und die Injektion der Bohrspülung beeinträchtigt werden.

Sobald ausreichend Daten gesammelt und ausgewertet wurden (mehrere Monate), können die Grenzen Beschränkungen den Injektionsdruck betreffend neu beurteilt werden.

Kaltfront – Beschränkung:

Die Ergebnisse der Simulationen haben gezeigt, dass eine Kaltfront die Produktionsbohrung nach 28 Jahren Betrieb erreicht.

Sobald dies der Fall ist, müsste die Temperatur um 1,8 Grad pro Jahr zurückgehen. Die Betriebsgrenze der elektrischen ORC-Oberflächeninstallation (Organic Rankine Cycle) wird so 5 Jahre nach dem Kontakt mit der Kaltfront erreicht.

Die gesamte Betriebsdauer wird daher theoretisch auf 33 Jahre geschätzt.

Allerdings sollten sich die ORC-Technologien bis in 33 Jahren zu marginalen Kosten beträchtlich verbessert haben. Ausserdem wird es das Verständnis des Reservoirs erlauben, die Injektion zwischen den Bohrungen Ittigen-01 und Ittigen-03 zu optimieren, um das Vorankommen der Kaltfront zu beschränken.

Daher besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass die Anlage länger als geplant betrieben werden kann.

Verdichtung des Reservoirs:

Die Abkühlung des Reservoirs und ihre Auswirkungen auf die Verdichtung wurden simuliert. Der Einfluss wurde als zu schwach eingestuft, um Oberflächeneffekte zu bewirken.

Kontamination mit Kaltwasser:

Bezüglich der Konnektivität zu einem kälteren Grundwasserleiter im Süden über eine grössere Verwerfung herrscht Unsicherheit. Obwohl eine Entfernung zu den Bohrungen besteht, gibt es während der Lebensdauer der Anlage ein Risiko, dass kälteres Wasser, das produzierte Wasser kontaminiert. Dies könnte den Betrieb des Reservoirs beeinträchtigen.

Dieses Risiko wird durch die Akquisition seismischer Daten im Jahr 2020 verringert, die in Zusammenarbeit mit dem Forschungsprogramm Ittigen erfolgt, um die Brüche in der Region und ihre Eigenschaften genau zu kartieren.

Ausserdem sind Tests geplant, die die veränderten Injektionsparameter verwenden, um den benachbarten Grundwasserleiter und dessen Konnektivität präziser zu modellieren.

Ablagerung:

Es besteht ein geringes (aber nicht unerhebliches) Risiko, dass sich in den Bohrungen Mineralien ablageren. So werden bei der ersten, zweiten, vierten und achten jährlichen Wartung Caliper-Logs durchgeführt, um allfällige mineralische Ablagerungen zu erkennen.

Des Weiteren werden es die Inspektionen der Oberflächenausrüstung ermöglichen, die Tendenz solcher Ablagerungen zu identifizieren.

Folgende Punkte könnten berücksichtigt werden:

- Risiko thermaler Zerklüftung
- Aktivierung einer grösseren Verwerfung
- Induzierte Seismizität (Produktion und Injektion)
- Natürliche thermale Aufladung
- Absenkungsdruck
- Zeit des natürlichen Wassertransits
- Beschränkung der Oberflächenanlagen
- Korrosion
- usw.

3.4 Überwachung des Reservoirs

Das Reservoir wird wie folgt überwacht:

- Druck- und Temperatursensoren an der Oberfläche (Produktions- und Injektionsbohrungen)
- Durchflusssensor an der Oberfläche (Produktions- und Injektionsbohrungen)
- Druck- und Temperatursensor auf Ebene des Reservoirs (Produktionsbohrung Ittigen-02)
- Wöchentliche Analyse der Wasserzusammensetzung
- Abfluss-Logs im Injektionsbohrung Ittigen-03 in den ersten beiden Jahren, um die Verteilung der Injektion besser zu verstehen.
- Eine Überwachung des Drucks in drei untiefen benachbarten Bohrungen (Bohrungen der Gemeinde Ittigen, die für Treibhäuser in der Landwirtschaft genutzt werden, mit einer Tiefe von rund 800 m), um zu bestätigen, dass keine Konnektivität mit einem untiefen Grundwasserleiter besteht.

Folgende Punkte könnten in Betracht gezogen werden:

- Indirekte Überwachungstechniken

3.5 Prozess zur Bewirtschaftung des Reservoirs

In den ersten 3 Betriebsjahren ist der Prozess zur Bewirtschaftung des Reservoirs am aufwändigsten, weil zuerst ein gutes Verständnis des Reservoirs erlangt werden muss.

Der Arbeitsaufwand reduziert sich anschliessend, sobald das Verhalten des Reservoirs bekannt ist. Nach 5 Jahren besteht nur noch ein geringer Aufwand für die Bewirtschaftung, wenn der Betrieb wie geplant abläuft und es keiner intensiven Bewirtschaftung bedarf.

Kalibrierung des Reservoir Modells:

Der Prozess zur Abstimmung auf die historischen Bedingungen («History Matching») wird in den ersten 10 Jahren geführt oder bis die Kenntnisse des Reservoirs ausreichen, um es sicher und vorhersehbar zu nutzen.

Wenn die Kaltfront die Produktionsbohrung erreicht, wird eine zweite Phase der Anpassung an die historischen Bedingungen umgesetzt.

Gleichzeitig werden Schwankungen zwischen den beiden Injektionsbohrungen geplant, um den jeweiligen Beitrag jeder Bohrung im Reservoir zu verstehen. Da die Bohrung Ittigen-01 mit dem oberen Teil des Reservoir Grund Wasserleiters verbunden ist und die Bohrung Ittigen-03 mit dem unteren Teil, werden Daten bereitstehen, um die Verteilung der Abflüsse im Reservoir zu verstehen.

Akquisition von Daten:

Dank der 2032 von der Gemeinde Ittigen geplanten seismischen Kampagne werden zusätzliche seismische Daten zur Verfügung stehen.

Logging-Kampagnen werden alle zwei Jahre durchgeführt, mit unterschiedlichen Zielsetzungen, je nach zu behebender Problematik. Folgende Ziele sind schon identifiziert worden:

- Optimierung der Injektion
- Reaktion der geologischen Formationen (Schwellung/Verdichtung)
- Ablagerungen und Korrosion
- ...

Folgende Punkte könnten in Betracht gezogen werden:

- Ein Schema des Prozesses zur Reservoir Bewirtschaftung
- Akquisition von Daten / Datenverarbeitung / Datenanalysen

4 Team für die Bewirtschaftung des Reservoirs

Wegen der schwankenden Arbeitsbelastung über die Jahre wird die Arbeit wie folgt organisiert:

- Ein Reservoir Ingenieur in Teilzeit
- Dieser Ingenieur arbeitet momentan Teilzeit in einer geothermischen Dublette in der Schweiz.
- Mit spezialisierten Subunternehmern werden punktuell Verträge abgeschlossen, um das Modell zu aktualisieren.
- Mit der Universität Ittigen werden Verträge für punktuelle Studien abgeschlossen.

Der Reservoir Ingenieur berichtet, mit dem Geologen und dem Betriebsingenieur, an den Betriebsleiter.

Folgende Punkte könnten in Betracht gezogen werden:

- Ein Schema des Teams für die Bewirtschaftung des Reservoirs.

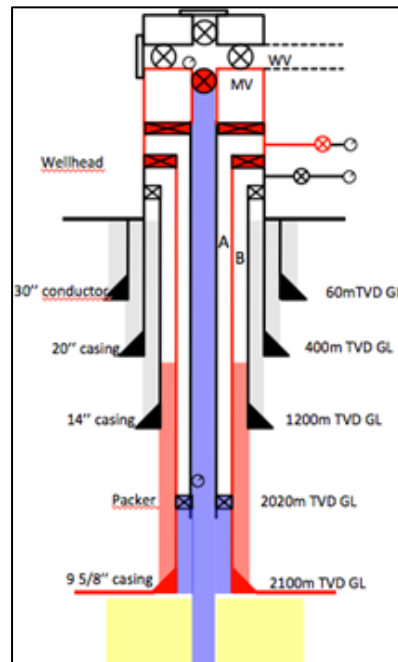
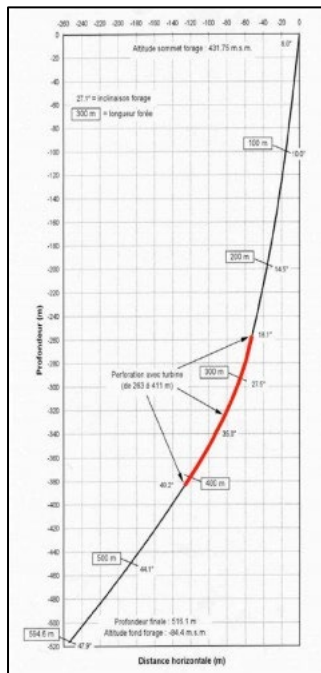
5 Bohrungen

Die allgemeine Organisation der Bohrungen kann dargestellt werden: Geologische Dublette / Geschlossener Kreislauf usw.

5.1 Produktionsbohrung

Die Bohrung Ittigen-02 befindet sich an den Koordinaten gemäss Absatz 3.1.

Die Bohrstrecke wird nachfolgend dargestellt (für weitere Details wird auf das Bohrprogramm verwiesen).



Quelle: Studie des Geothermie Potenzials des Kantons Waadt (Berli und Pingel 1994)

Das Wasser des Reservoirs wird mit einer Oberflächenpumpe produziert. Sollten die Ergebnisse der Produktionstests eine Produktivität zeigen, die unter den Erwartungen liegt, könnte in der Bohrung auf einer Tiefe von 500 m eine Unterwasserpumpe installiert werden.

Folgende Punkte könnten berücksichtigt werden:

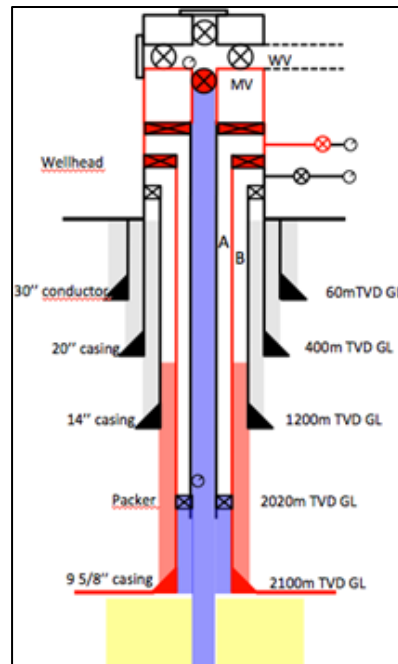
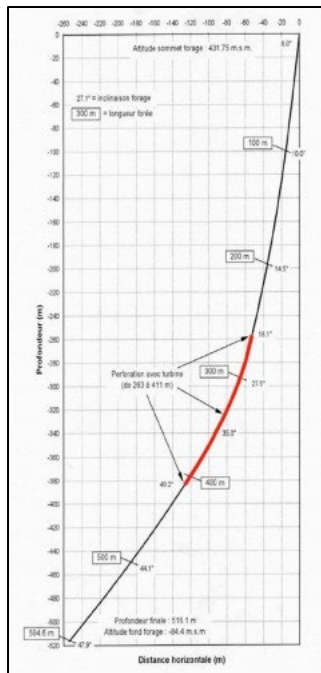
- Bedarf von zwei Barrieren bei artesischen Bohrungen.
- usw.

5.2 Injektionsbohrung

1.1.1. Bohrung Ittigen-01

Die Injektionsbohrung Ittigen-01 befindet sich 6 m östlich der Koordinaten für die Bohrung Ittigen-02 gemäss Absatz 3.1. Die geplante Bohrstrecke wird nachfolgend dargestellt (für weitere Details wird auf das Bohrprogramm verwiesen).

Das Schema der Bohrlochbarriere wird nachfolgend dargestellt (für weitere Details wird auf das Bohrprogramm verwiesen).



Quelle: Studie des Geothermie Potenzials des Kantons Waadt (Berli und Pingel 1994)

1.1.2. Bohrung Ittigen-03

Die Injektionsbohrung Ittigen-03 befindet sich 12 m östlich der Koordinaten für die Bohrung Ittigen-02 gemäss Absatz 3.1. usw.