



Abschlussbericht 07. Oktober 2010

Tiefen-EWS Oftringen:

Sanierung einer 706 m tiefen 40-mm-2-Kreis PE-Erdwärmesonde

*– abgelöste Kalkablagerungen verursachten
einen sukzessiven Verschluss der Pilotanlage*

Auftraggeber:

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

Kofinanzierung:

(falls anwendbar)

Auftragnehmer:

EBERHARD & Partner AG
General Guisan-Strasse 2
CH - 5000 Aarau

www.eberhard-partner.ch

Autor:

Dr. Oliver Sachs (sachs@eberhard-partner.ch)

BFE-Bereichsleiter: Gunter Siddiqi

BFE-Programmleiter: Rudolf Minder

BFE-Vertrags- und Projektnummer: SI/500'521-01 bzw. SI/500'521

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

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|--|-----------|
| ZUSAMMENFASSUNG | 2 |
| 1. AUSGANGSLAGE | 3 |
| 1.1. AUFTRAG | 4 |
| 1.2. ZIEL DER STUDIE | 4 |
| 2. PHÄNOMEN "VERKALKUNG EINER KONVENTIONELLEN TIEFEN-EWS" | 6 |
| 3. HERKUNFT DER KALKABLAGERUNGEN | 8 |
| 4. SOFORTMASSNAHMEN UND SANIERUNGSKONZEPT | 9 |
| 5. SANIERUNG DER TIEFEN-EWS OFTRINGEN | 10 |
| 6. EINFLUSS AUF DAS MESSPROGRAMM DER TIEFEN-EWS OFTRINGEN | 12 |
| 7. FAZIT | 13 |
| GRUNDLAGEN / LITERATUR | 14 |
| BEILAGEN | 14 |

ZUSAMMENFASSUNG

Fast zwei Jahre nach der Installation einer 706 m tiefen konventionellen Doppel-U-Sonde bei Oftringen wurde die Erdwärmesonde (EWS) an die Pilotanlage „Tiefen-EWS Oftringen“ angeschlossen. Die derzeitige Konfiguration der Forschungsanlage erlaubt einen dauerhaften Leistungsentzug von etwa 25 KW nach dem Direktheizungsprinzip. Die Forschungsanlage wurde im November / Dezember 2009 aufgebaut und schliesslich am 15. Dezember 2009 technisch geprüft und abgenommen. Am selben Tag begann das wissenschaftliche Messprogramm. Zu Beginn funktionierte die Anlage problemlos. Gut zwei Wochen nach der Inbetriebnahme wurden die eingestellte Durchflussmenge und der festgelegte dauerhafte Leistungsentzug nicht mehr korrekt gehalten. Die anfängliche maximale Durchflussmenge betrug fast 3'900 l/h. Als es zu den ersten Veränderungen gekommen ist war nur noch ein Maximalwert von weniger als 1'000 l/h erreichbar – Tendenz weiter abnehmend. Eine Untersuchung der Siebeinsätze (Schmutzfänger, Wasserzähler) offenbarte, dass die Anlage mit einer erheblichen Menge an Kalkplättchen verunreinigt war. Das Problem der Kalkfällung war bei konventionellen EWS (Doppel-U-Sonde, Koaxialsonde) bislang unbekannt. Die vorliegende Studie untersucht die Umstände der Kalkfällung und erarbeitete ein Sanierungskonzept.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Kalkfällung durch drei Faktoren wesentlich begünstigt wurde: die Befüllung der Sonde mit kalkhaltigem Trinkwasser aus dem Leitungsnetz Oftringen, maximale Sondentemperaturen von fast 49 °C sowie die annähernd zweijährige Standzeit des Sondenkreislaufs. Durch die Inbetriebnahme der Forschungsanlage wurde das thermische Umfeld der Sonde stark beeinflusst, wodurch die Kalkkruste auf dem glatten PE-Rohr gelockert wurde. Das zirkulierende Wärmeträgermedium hat die gelockerten Partikel von der Wandung fortgerissen und bis zu den Siebeinsätzen transportiert.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde ein nachhaltiges Sanierungskonzept bei gleichzeitiger Funktionsfähigkeit der Pilotanlage „Tiefen-EWS Oftringen“ (BFE-Projektnummer: 103'342) erarbeitet. Einerseits sollten die Verunreinigungen kontrolliert und möglichst schnell aus dem Kreislauf entfernt werden, andererseits bestand das Arbeitsmedium aus einem 20%igem Wasser/Ethylenglykol-Gemisch (pH 7.5 bis 8.0) mit unbekanntem Additiven, wodurch auf die Zugabe eines Entkalkungsmittels (z. B. HCl) von vorne herein verzichtet wurde. Infolge der Säurezugabe kann es durch einsetzende Veresterungsprozesse zu fettigen oder wachsartigen Niederschlägen im gesamten Sondenkreislauf kommen. Ähnliche Phänomene wurden in thermischen Solarkollektoren beobachtet. Aus diesem Grunde ist nach alternativen Lösungswegen gesucht worden.

Bei der Tiefen-EWS Oftringen konnte das Kalkproblem durch den Einbau verschiedener Schmutzrückhaltesysteme (Schmutzfänger, Schlammabscheider) auf rein mechanische Weise gelöst werden. Nach einigen Reinigungszyklen stellte sich bereits nach kurzer Zeit ein anhaltender Erfolg ein. Beim Sondentyp EWS bzw. Tiefen-EWS wird die Erdwärme mittels eines in einem geschlossenen Kreislauf zirkulierenden Wärmeträgermediums gewonnen. Bei der Weiterverwendung der gleichen Wärmeträgerflüssigkeit bzw. bei Verwendung von enthärtetem Wasser wird eine erneute Kalkabscheidung ausgeschlossen.

1. AUSGANGSLAGE

Im Sommer 2007 wurde das 719 m tiefe Bohrloch für die derzeit weltweit tiefste konventionelle Doppel-U-Sonde auf dem heutigen Betriebsgelände der Axpo in Oftringen erstellt (Beilage 1). Ein wesentliches Ziel dieser Arbeiten war die Erweiterung der bislang fehlenden geologisch-geothermischen Datenbasis in einem wenig erforschten Gebiet der Schweiz (Abb. 1). Neben der genauen stratigraphischen Abfolge wurden verschiedene geophysikalische Gesteinsparameter und wichtige Kenngrößen wie Gesteinstemperatur oder Wärmeleitfähigkeit bestimmt (Frieg, 2009).

Bis zu diesem Zeitpunkt gab es keine Erfahrungswerte mit einer so tiefen und leistungsfähigen Doppel-U-Sonde. Das Ziel der ersten Projektphase war die Erstellung einer Anlage, mit welcher die Tiefen-EWS als Wärmequelle für eine Direktheizung (ohne Wärmepumpe) ausgetestet werden sollte. Die EBERHARD & Partner AG (Aarau) projektierte hierfür im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BFE, Bern) die Pilotanlage „Tiefen-EWS Oftringen“ und nahm diese im Rahmen des Forschungsprojektes „Tiefen-EWS Oftringen (706 m): Direktheizen mit der derzeit tiefsten 40-mm-2-Kreis PE-Erdsonde der Welt“ am 15. Dezember 2009 in Betrieb (EBERHARD & Partner AG, 2009).

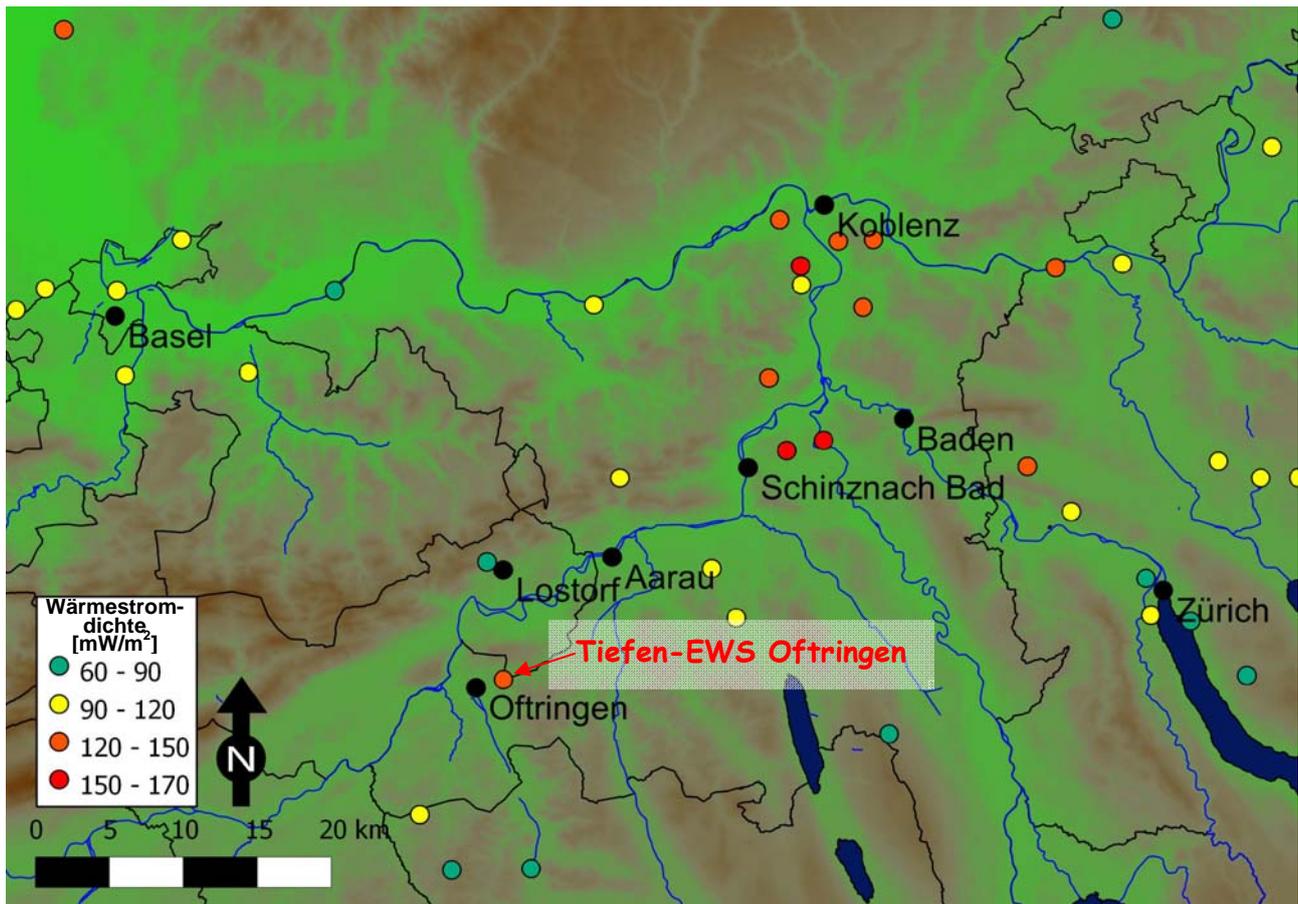


Abb. 1: Lage der „Tiefen-EWS Oftringen“, NEE von Oftringen (AG). Ergänzend werden Bohrpunkte mit bekannten geothermischen Daten abgebildet. Die Farben repräsentieren unterschiedliche Wärmeflussdichten in mW/m^2 (Medici & Rybach, 1995; Schärli & Rybach, 2002; Wagner et al., 2008).

1.1. AUFTRAG

Nach der Inbetriebnahme der Pilotanlage „Tiefen-EWS Oftringen“ (BFE-Projektnummer: 103'342) wurde im Laufe der Zeit eine stetig abnehmende Zirkulationsrate im Sondenkreislauf festgestellt. Beim Öffnen des Kreislaufes wurden erhebliche Mengen von Kalkplättchen im Solekreislauf gefunden. Im Rahmen eines ergänzenden Forschungsauftrages wurde die EBERHARD & Partner AG vom Bundesamt für Energie in Bern dazu beauftragt, die Gründe für die Verkalkungen abzuklären, ein nachhaltiges Sanierungskonzept für ähnlich gelagerte Fälle zu erstellen sowie die Sanierung der Tiefen-EWS Oftringen durchzuführen (BFE-Projektnummer: SI/500'521).

1.2. ZIEL DER STUDIE

Vorrangiges Ziel der Studie war die kontinuierliche Aufrechterhaltung des wissenschaftlichen Messprogramms der Pilotanlage Tiefen-EWS Oftringen (BFE-Projektnummer: 103'342). Hierfür war es notwendig, die Gründe zu verstehen, welche zu dem Kalkproblem geführt haben. Ein anderer wichtiger Punkt war die Ausarbeitung eines effektiven und nachhaltigen Sanierungskonzeptes der Sondenrohre bzw. des Sondenkreislaufes.

2. PHÄNOMEN „VERKALKUNG EINER KONVENTIONELLEN TIEFEN-EWS“

Bei konventionellen EWS-Anlagen war das Problem der Kalkfällung bislang unbekannt. Aufgrund besonderer Umstände ist es bei der 706 m tiefen Doppel-U-Sonde bei Oftringen nach der Inbetriebnahme der Pilotanlage „Tiefen-EWS Oftringen“ zu erheblichen Problemen mit Kalkablagerungen gekommen.

Zu Beginn des wissenschaftlichen Messprogramms wurde am 15. Dezember 2009 die im Kreislauf zirkulierende Durchflussmenge auf 1'500 l/h einjustiert. Gleichzeitig ist kontinuierlich eine Wärmeleistung von 10 kW entzogen worden. Fest eingebaute Temperaturfühler übermittelten während der gesamten Messphase die *in situ*-Kreislauftemperaturen unter anderem bei 0, 50, 225, 500 (jeweils im Vor- und Rücklauf) und 700 m Tiefe (Beilage 2). Am 24. Dezember 2009 wurde der Leistungszug auf 15 kW erhöht. Nach der Umstellung auf neue Parameter (z. B. dauerhafter Leistungszug) vergeht in der Regel einige Zeit (je nach Umstellung 1 bis 3 Tage), bis sich ein neues Temperaturngleichgewicht im Sondenkreislauf einstellt. Nach dem Erreichen des Gleichgewichtszustandes wurde die Pilotanlage durchschnittlich 5 Tage mit unveränderten Einstellungen gefahren.

Am 5. Januar 2010 wurde die kontinuierliche Durchflussmenge auf 2'500 l/h erhöht. Kurz nach der Umstellung zeigten die online abgerufenen Daten der Pilotanlage, dass der weiter erhöhte Leistungszug (20 kW) von der Anlage nicht mehr erreicht wurde. In den Probeläufen vor und während der Inbetriebnahme war dies stets ohne Probleme möglich. Das Verhalten der Anlage deutete auf eine zunehmende Reduktion der eingestellten Durchflussmenge hin. Eine Überprüfung der Wasserzähler zeigte, dass die Sole mit weniger als 1'000 l/h im Sondenkreislauf zirkulierte. Anfangs war nicht klar, ob eine Fehlfunktion eines Steuerventils, ein Pumpendefekt oder eine rein mechanische Beeinflussung des Solekreislaufs vorlag.

Wiederholte Durchflussmessungen nach dem mehrmaligem vollständigen Herunter- und Herauffahren der gesamten Anlage zeigten, dass die tatsächlichen Durchflusswerte nach etwas verbesserten Anfangswerten kontinuierlich abgesunken waren. Eine Veränderung der elektrischen Leistungsaufnahme der Umwälzpumpe oder andere Anomalien (z. B. Geräusche) waren nicht feststellbar.

Im Kreislauf des Wärmeträgermediums war bereits in der Planungsphase ein Schmutzfang vor dem Wasserzähler für die Leistungsmessung vorgesehen (Beilage 2). Einerseits ist dadurch die für die Anlage essentielle Leistungsbestimmung vor Fremdeinflüssen besser geschützt, andererseits kann an dieser Stelle mit relativ kleinem Aufwand eine Kontrolle über den eventuellen Verschmutzungsgrad des Solekreislaufs durchgeführt werden. Bei der Überprüfung des Siebeinsatzes wurden viele Kalkplättchen gefunden. Auf Abbildung 2 wird eine Probe aus dem Schmutzfang dargestellt.



Abb. 2: Auswahl an Fremdkörpern, welche am 6. Januar 2010 aus dem Sieb des Schmutzfangs entnommen wurden. Es waren sehr viele kleinere und grosse Kalkplättchen (maximale Grösse (L x B) 2 x 0.5 cm, 0.1 bis 0.2 mm dick, gebogen wie das Sondenrohr) enthalten. Daneben wurden wenige spiralförmig gedrehte Eisenspäne und schwarze PE-Kunststoffstückchen im Sieb gefunden.

Nachdem der Schmutzfang gereinigt und die Anlage wieder angefahren wurde, war die maximal erzielbare Durchflussmenge 2'900 l/h. Der maximale Durchflusswert von 3'900 l/h nach der Inbetriebnahme (15. 12. 2009) wurde demnach nicht mehr erreicht. Folglich war das hydraulische System an mindestens einer weiteren Stelle verstopft.

Die empfindliche Mechanik von Wasserzählern ist meist bereits werksseitig durch einen eingebauten Siebeinsatz vor Schmutzfasern (z. B. Dichtungsmaterial) oder sonstige Fremdpartikel (z. B. Eisenspäne) geschützt. Die Siebe stellen eine einfache und effektive Schutzmassnahme für das Zählwerk der Wasseruhr dar. Beim Öffnen des Leitungskreislaufes und Herausnehmen des ersten von insgesamt zwei installierten Wasserzählern zeigte sich, dass der werksseitig eingebaute Siebeinsatz durch Kalkplättchen stark verunreinigt war. In der Folge wurden die beiden installierten Wasserzähler ausgebaut und gereinigt. Vor allem der erste Zähler (warmseitig, aus den Sonden) war mit kleinen und grossen Kalkpartikeln stark verschmutzt (Abb. 3).



Abb. 3: Foto mit Blickrichtung in Fliessrichtung Wasserzähler (erster Wasserzähler aus den Sonden, siehe Beilage 2 sowie Abb. 7). Der werksseitig eingebaute Schmutzfang war fast vollständig mit Kalkplättchen und -schlamm verstopft.

Nachdem auch die ab Werk eingebauten Schmutzfangsiebe beider Wasserzähler gereinigt, die Wasserzähler wieder eingebaut und die Anlage angefahren wurde, zeigten die bisherigen Massnahmen erste Erfolge. Die ursprünglichen maximalen Durchflusswerte von 3'900 l/h wurden jetzt wieder erreicht. Eine halbe Stunde später ist der eingestellte Durchflusswert erneut kontrolliert worden. Die Messung ergab einen Wert von 2'280 l/h; Tendenz weiter fallend. Nach etwa einer Stunde ist der Durchfluss wieder auf das gleiche Niveau wie vor der Reinigung gefallen. Nach diesem ernüchternden Ergebnis wurde das Messprogramm vorläufig eingestellt.

Um einen Verschluss des hydraulischen Systems zu verhindern wurde während der folgenden Tage die Anlage drei bis vier Mal täglich gereinigt. Die eingeleiteten Massnahmen sollten einen Stillstand des Zirkulationsstroms – und damit ein mögliches Absetzen der Kalkplättchen im Sondenfuss in 700 m Tiefe – verhindern. Ein vollständiger Verschluss des Sondenrohrs wäre nach derzeitigem Kenntnisstand praktisch nicht mehr sanierbar gewesen.

3. HERKUNFT DER KALKABLAGERUNGEN

Die Tiefen-EWS Oftringen wurde bei ihrer Erstellung mit Trinkwasser gefüllt. 2007 betrug der durchschnittliche Kalkgehalt des Trinkwassers von Oftringen zwischen 35.2 und 35.3 °fH (Analyse der EW Oftringen AG, 2007). Damit ist das Wasser als „hart“ zu bezeichnen und neigt zu Kalkabscheidungen, insbesondere wenn es ohne Zirkulation erwärmt wird. Nachdem die Sonde mit Trinkwasser gefüllt bzw. das Messprogramm 2008 beendet war (Wagner et. al, 2008), wurde die Tiefen-EWS verschlossen und nicht weiter betrieben. Infolgedessen erwärmte sich das Wasser im Sondenfuss auf etwa 49 °C. Allgemein nimmt das Löslichkeitsprodukt für die Abscheidung von Kalk bei steigender Temperatur ab. D. h. Kalk ist im warmen Wasser weniger löslich als in kaltem Wasser. Eine Kalkkruste wird sich daher auf der warmen Sondenrohrwand bilden. Stagnierende oder stehende Wasserverhältnisse begünstigen diesen Vorgang. Folglich bildeten sich im Laufe der Zeit an der Innenwand der Doppel-U-Sonde Kalkabsätze.

Ab etwa 60 °C findet eine verstärkte Kalkabscheidung statt. Dieser in der Literatur als „Kesselsteinbildung“ bezeichnete Vorgang ist unter anderem abhängig vom Kalkgehalt und pH-Wert des Wassers bzw. von Temperatur- Strömungs- oder Druckverhältnissen im Bereich der Kalkabscheidung. In welchem Umfang und ab welcher Tiefe die Kalkabscheidung stattgefunden hat kann heute nicht mehr im Detail angegeben werden. Möglicherweise fand durch konvektive Strömungen punktuell eine stärkere Kalkfällung statt. Aufgrund der gemessenen Gebirgstemperaturen (Beilage 3) kann davon ausgegangen werden, dass nur der tiefste Bereich des Sondenrohrs von der Verkalkung betroffen war.

Nachdem die Pilotanlage gebaut und in Betrieb genommen wurde und ein dauerhafter Leistungsentzug stattgefunden hatte, änderten sich die Temperaturbedingungen in und um das Sondenrohr. Möglicherweise lockerte sich bereits dadurch die Kalkkruste von der relativ glatten Oberfläche des PE-Sondenrohrs. Als der Durchfluss von 1'500 auf 2'500 l/h erhöht wurde, wurden die Kalkkruste sukzessive abgelöst und mit der Wärmeträgerflüssigkeit weggeführt.

4. SOFORTMASSNAHMEN UND SANIERUNGSKONZEPT

Als Sofortmassnahmen wurden einerseits Ansäuerung, andererseits mechanisches Herausfiltern der Kalkplättchen diskutiert. Prinzipiell wäre die Ansäuerung mit einer Säure (z. B. HCl) eine technisch einfach durchzuführende Massnahme.

Der Wärmeentzug der Forschungsanlage läuft direkt über einen leistungsstarken Luftherhitzer. Aufgrund der damit verbundenen Frostgefahr wurde ein 20 %iges Wasser-Glykol-Gemisch als Wärmeträgermedium gewählt. Das Gemisch enthält einerseits ab Werk zugegebene, unbekannte Additive, andererseits wurde ein pH von 7.5 bis 8.0 bestimmt. Damit würde die Zugabe einer Säure den pH-Wert massiv verändern. Zudem setzen bei der Zugabe von Säure in einen mehrwertigen Alkohol wie Glykol Veresterungsprozesse ein. Diese chemischen Reaktionen können zu fettigen oder wachsartigen Niederschlägen im gesamten Sondenkreislauf führen. Ähnliche Phänomene wurden bei Reinigungs- bzw. Entkalkungsmassnahmen von thermischen Solarkollektoren beobachtet. Eine rein mechanische Reinigung des Wasser-Glykol-Gemisches ist in Bezug auf Folgeschäden mit erheblich weniger Risiko verbunden.

Für die Möglichkeit der mechanischen Reinigung war es zuerst notwendig, die genaue Korngrößenverteilung zu kennen. Hierfür wurde die Anlage gereinigt und nach einer Stunde Betriebszeit die in den Sieben zurückgehaltene Menge Kalk entnommen und im Gesteinslabor der EBERHARD & Partner AG nach Korngrößen getrennt (Abb. 4).



Abb. 4: Qualitative Korngrößenanalyse nach Reinigung aller Siebe und einer Stunde Betriebszeit der Tiefen-EWS Oftringen. Ein erheblicher Teil der Kalkplättchen setzt sich aus der Siebfraction >0.2 mm Durchmesser zusammen.

Aufgrund des Analyseergebnisses wurde beschlossen, die Kalkpartikel durch zusätzliche technische Umbaumaassnahmen zu entfernen.

5. SANIERUNG DER TIEFEN-EWS OFTRINGEN

Um einen erneuten Verschluss der Anlage zu verhindern wurden verschiedene technische Umbauszenarien überlegt. Schliesslich wurden zwei verschiedene Reinigungs- und Filtersysteme in den hydraulischen Kreislauf installiert.

Direkt nach dem Sondenverteiler wurde ein Schlammabscheider (Abb. 5) installiert. Ein Schlammabscheider entfernt aus einer Flüssigkeit einerseits Schmutzpartikel bis zu einer Grösse von 5 bis 10 μm , andererseits werden die Standzeiten von zusätzlichen Filtersystemen nach dem Schlammabscheider deutlich verlängert.

Der Schlammabscheider hat gegenüber einem normalen Filtersystem einen grossen Vorteil: die Schlammpartikel können bei laufendem Betrieb ausgespült werden. Da die Anlage anfänglich 2 bis 3-mal pro Woche gereinigt und mittels Durchflussmessung überwacht werden sollte, war ein selbstständig reinigender Schlammabscheider nicht notwendig.

Vor den beiden Wasserzählern wurden zusätzlich Schmutzfänger (Abb. 6) eingebaut. Schmutzfänger halten mittels eines Siebeinsatzes grössere Partikel zurück. Hierbei handelt es sich um Schmutzteilchen, welche beim ersten Durchlauf von dem Schlammabscheider nicht zurückgehalten wurden und die Funktion des Wasserzählers beeinflussen könnten.



Abb. 5: Zusätzlich installierter Schlammabscheider



Abb. 6: Vor dem Wasserzähler eingebauter Schmutzfänger

In den ersten Wochen nach der Sanierungsmaassnahme sollten die beiden Schmutzfänger jeweils vor der Umstellung des Leistungszuges bzw. vor der Neueinstellung des Durchflusses gereinigt werden. Hierfür musste der gesamte Kreislauf abgestellt und Druckenleert werden.

Die eingeleiteten Massnahmen sollten nach einer gewissen Zeit zu einem kalkplättchenfreien hydraulischen System führen.

Nach dem Abschluss der Umbaumaßnahmen (Abb. 7) begann der einwöchige Probebetrieb der Forschungsanlage. Anfangs wurde die Zirkulationsrate auf 3'550 l/h eingestellt. Nach einer Woche (ohne Reinigung der Siebeinätze) war die Durchflussrate auf etwa 2'600 l/h abgefallen. Aufgrund dieses Ergebnisses wurde der Schlammabscheider spätestens alle 2 Tage gespült und die beiden Schmutzfänger vor und nach jeder neuen Einstellung (Leistungsentzug, Durchflussänderung) gereinigt. Vor und nach jeder Spülung des Schlammabscheiders wurde der Durchfluss gemessen. Betrug die Abweichung trotz der Spülung des Schlammabscheiders mehr als 500 l/h von der früher eingestellten Zirkulationsrate, wurde die Anlage kurzzeitig für etwa 1 bis 2 h vollständig heruntergefahren und alle Siebeinätze gereinigt. In der ersten Zeit wurde diese Maßnahme etwa ein bis zwei Mal pro Woche durchgeführt.



Abb. 7: Zustand nach der Sanierungsmaßnahme (Vorlauf): Der warmseitig installierte Schlammabscheider sowie der neu hinzugekommene Schmutzfänger vor dem Durchflusszähler. Der Leitungsabschnitt wurde nach der Dichtigkeitsprüfung isoliert.

Nach drei Wochen ist nur noch der Schlammabscheider zwei Mal pro Woche regelmäßig gespült worden. Sieben Tage später ergab eine nach der Spülung des Schlammabscheiders durchgeführte Durchflussmessung eine Abweichung von 70 l/h vom ursprünglich eingestellten Sollwert. Eine Reinigung der Siebeinätze war damit nur noch sporadisch notwendig.

Etwa 6 Wochen nach der Umbaumaßnahme konnten die Reinigungsmaßnahmen weiter reduziert werden, d. h. der Schlammabscheider wurde kontinuierlich einmal pro Woche gereinigt, wobei die

Schmutzfänger nach dieser Zeit im Wechsel alle vier Wochen visuell kontrolliert wurden. Nach 12 Wochen wurden praktisch keine grösseren und nur noch sehr wenige kleinere Kalkplättchen in den Sieben gefunden. 13 Wochen nach dem Umbau sind die eingestellten Durchflussmengen problemlos gehalten worden. Sporadisch durchgeführte Reinigungsmassnahmen (Schlammabscheider) zeigten einen vernachlässigbaren Verschmutzungsgrad des Wärmeträgermediums.

6. EINFLUSS AUF DAS MESSPROGRAMM DER TIEFEN-EWS OFTRINGEN

Vor und nach allen Reinigungsarbeiten wurden die Durchflusswerte bestimmt und mit den eingestellten Sollwerten verglichen. Somit wurde gleichzeitig der Erfolg und die Notwendigkeit (bzw. Nicht-Notwendigkeit) einer Reinigungsmassnahme sofort ersichtlich.

Anfangs ist der Schlammabscheider relativ häufig gespült worden. Die Spülungen wurden während des Betriebs der Anlage durchgeführt. Hierbei konnte eine Beeinflussung der Anlage (Leistungsentzug, Durchflussmenge, Temperaturmessungen) nicht festgestellt werden. Durch die Spülung wurde jeweils eine kleine Menge (etwa 0.3 bis 0.5 Liter) des Wärmeträgermediums entnommen und durch das eingebaute Druckausgleichsgefäss sofort ersetzt. Der dadurch entstandene Flüssigkeitsverlust wurde bei der „grossen“ Reinigung (siehe Abb. 8) mit den beiden Schmutzfängern wieder kompensiert.

Für eine zusätzliche Reinigung der beiden Schmutzfänger musste die gesamte Anlage heruntergefahren, druckentlastet, gereinigt und wieder befüllt werden. Der gesamte Vorgang dauerte 1 bis 2 Stunden. Diese Zeit macht sich besonders deutlich in den Leistungsentzugsprotokollen bemerkbar (Abb. 8).

Aus Abbildung 8 geht hervor, dass die Anlage eine beträchtliche Zeit benötigt, bis wieder der alte, vorher eingestellte Leistungsentzug erreicht wird. Bei den Temperaturen war der Einfluss deutlich geringer. Aus diesem Grund wurde die grosse Anlagenreinigung immer vor einer Umstellung (z. B. neuer Leistungsentzug oder andere Durchflussmenge) durchgeführt. Erst nach Erreichen der eingestellten Leistung bzw. nachdem sich ein kontinuierliches Temperaturgleichgewicht in den unterschiedlichen Sondenniveaus eingestellt hat wurden die Messwerte für die weitere Auswertung verwendet.

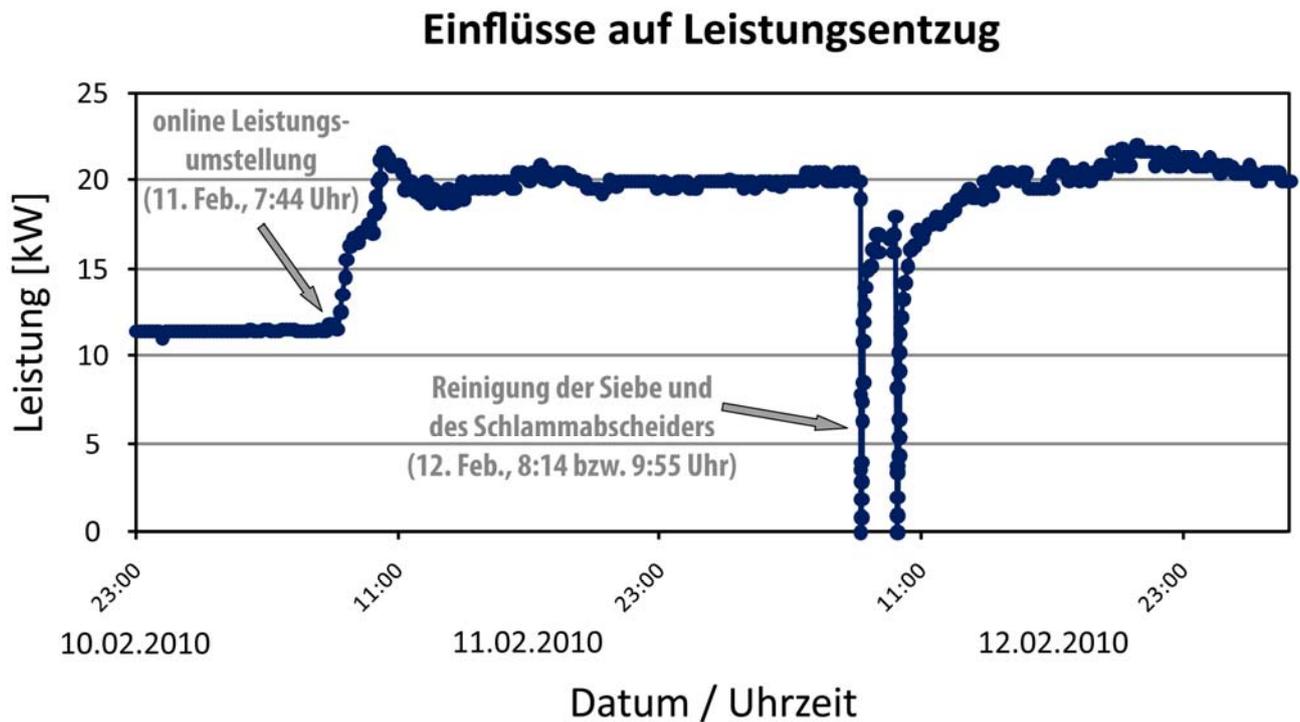


Abb. 8: Effektive Anlagenbeeinflussung durch die Reinigung der beiden Schmutzfänger sowie des Schlammabscheiders. Bei der online erfolgten Leistungsumstellung (ohne Unterbrechung der Zirkulation) wurde der eingestellte Sollwert (20 kW Leistungsentzug) nach etwa 3 Stunden erreicht. Nach der völligen Unterbrechung der Zirkulation (Reinigung der Schmutzfänger / Schlammabscheider) wurden nach dem Anfahren der Forschungsanlage mehr als 15 Stunden für die Erreichung des eingestellten Sollwertes benötigt.

7. FAZIT

Eine Tiefen-EWS sollte aufgrund ihrer relativ hohen Temperaturen im Bereich des Sondenfusses immer mit enthärtetem Wasser befüllt werden. Insbesondere während längerer Standzeiten kann es nach der Befüllung mit hartem Leitungswasser zu Kalkabsätzen an der Rohrwandung der Erdwärmesonde kommen. Prinzipiell spielt es hierbei keine Rolle, ob es sich um eine EWS vom Typ Doppel-U-Sonde oder Koaxialsonde handelt. Nach dem erneuten Anfahren der Anlage können sich durch Temperaturunterschiede Teile der Kalkkruste lockern und mit dem Wärmeträgermedium fortgespült werden.

Die Ansäuerung des Wärmeträgermediums führt nicht nur zu einem höheren Korrosionspotential der zirkulierenden Flüssigkeit, sondern sie ist je nach gewähltem Medium u. U. von der chemischen Seite her nicht empfehlenswert. Die vorliegende Studie hat gezeigt, dass eine effektive mechanische Reinigung durch den Einbau von relativ einfachen Schmutzrückhaltesystemen (Schlammabscheider, Schmutzfänger) möglich ist. Die Reinigung erfolgt kontinuierlich und während des normalen Betriebs der Anlage.

8. GRUNDLAGEN / LITERATUR

- EBERHARD & Partner AG (2009). Überwachung von Wärmeförderung von Tiefensonden, Phase 1: Tiefensonde in Oftringen (719 m) bei variierenden Durchflussraten und Entzugsleistungen (Kurzbericht). Forschungsantrag an das Bundesamt für Energie, Bern.
- Frieg, B. (2009). Geological, hydrogeological and thermal conditions of a 706 m deep borehole for geothermal use (EWS). Talk, Crege General Assembly.
- Wagner, R., Kohl, T., Rohner, E. (2008). Tiefe Erdwärmesonde NOK Unterwerk Oftringen. Nagra Arbeitsbericht (unveröffentlicht), 45 Seiten + Beilagen.

ANHANG

Beilagen

Projektleitung: Dr. Oliver Sachs

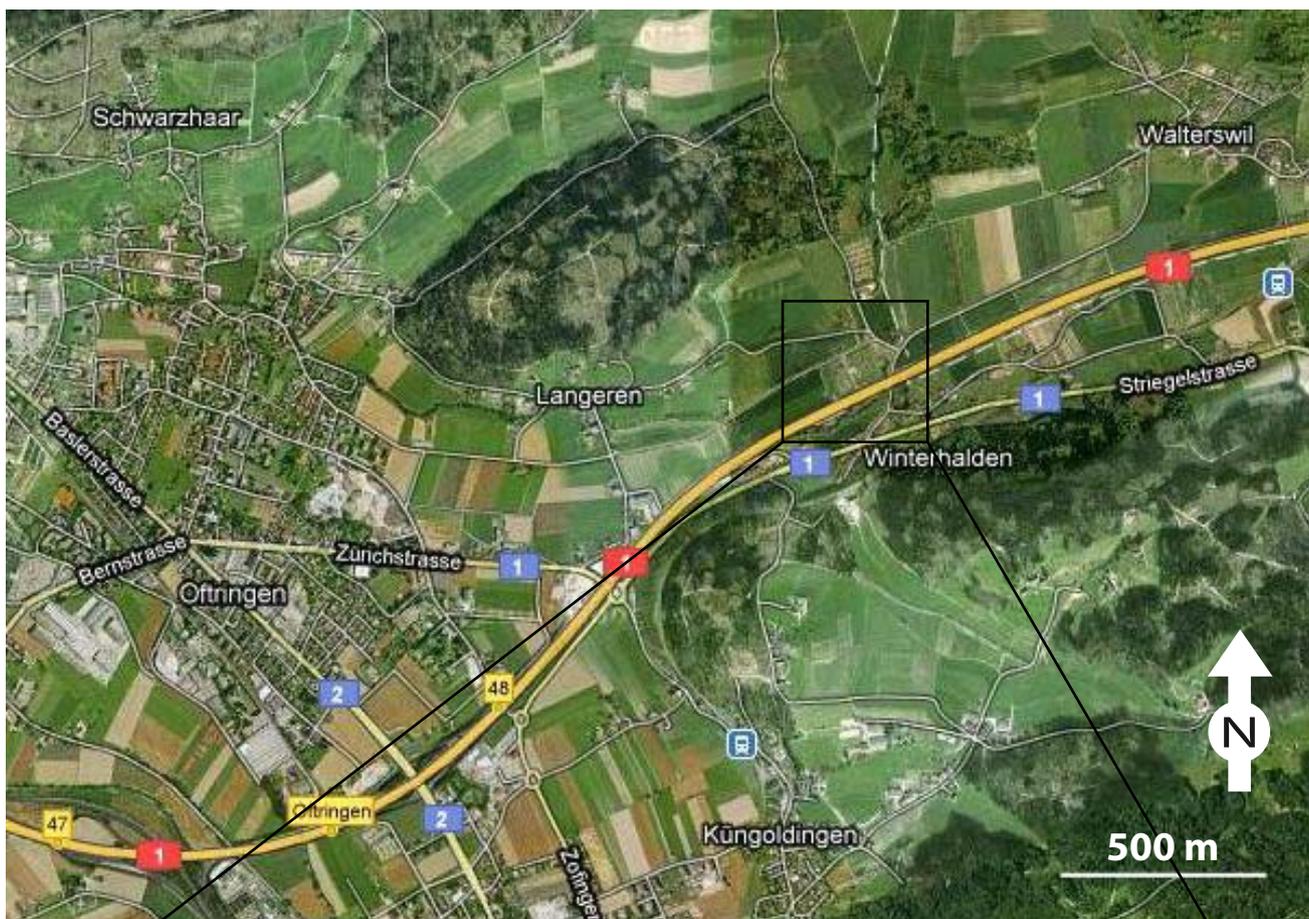
Aarau, 07. Oktober 2010

EBERHARD & Partner AG
Geologie • Energie • Umwelt

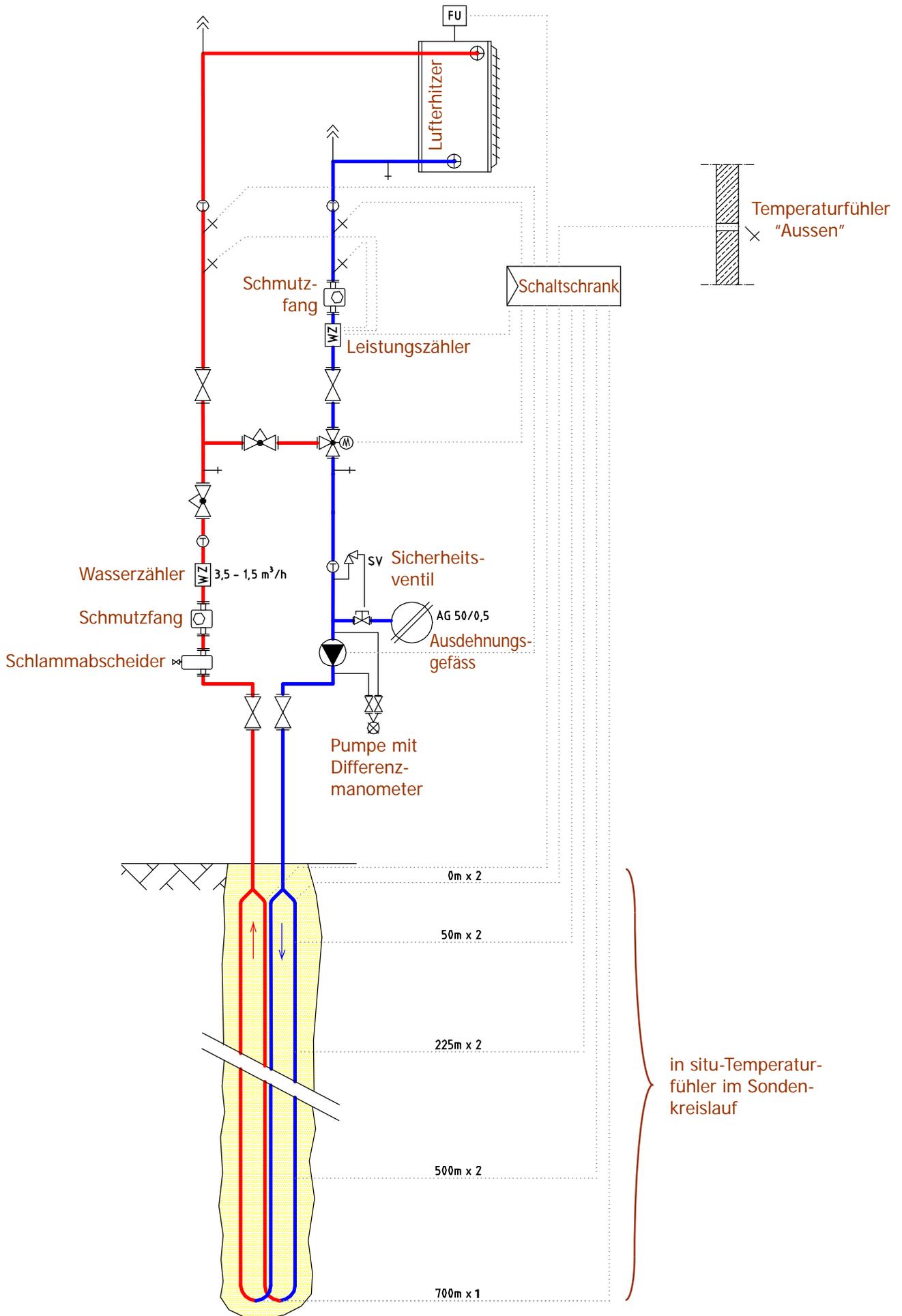
BEILAGEN

- 1 Standort der Tiefen-EWS von Oftringen
- 2 Schaltbild der Tiefen-EWS Pilotanlage
- 3 Gesteinstemperaturen mit stratigraphischer Abfolge und Kennzahlen

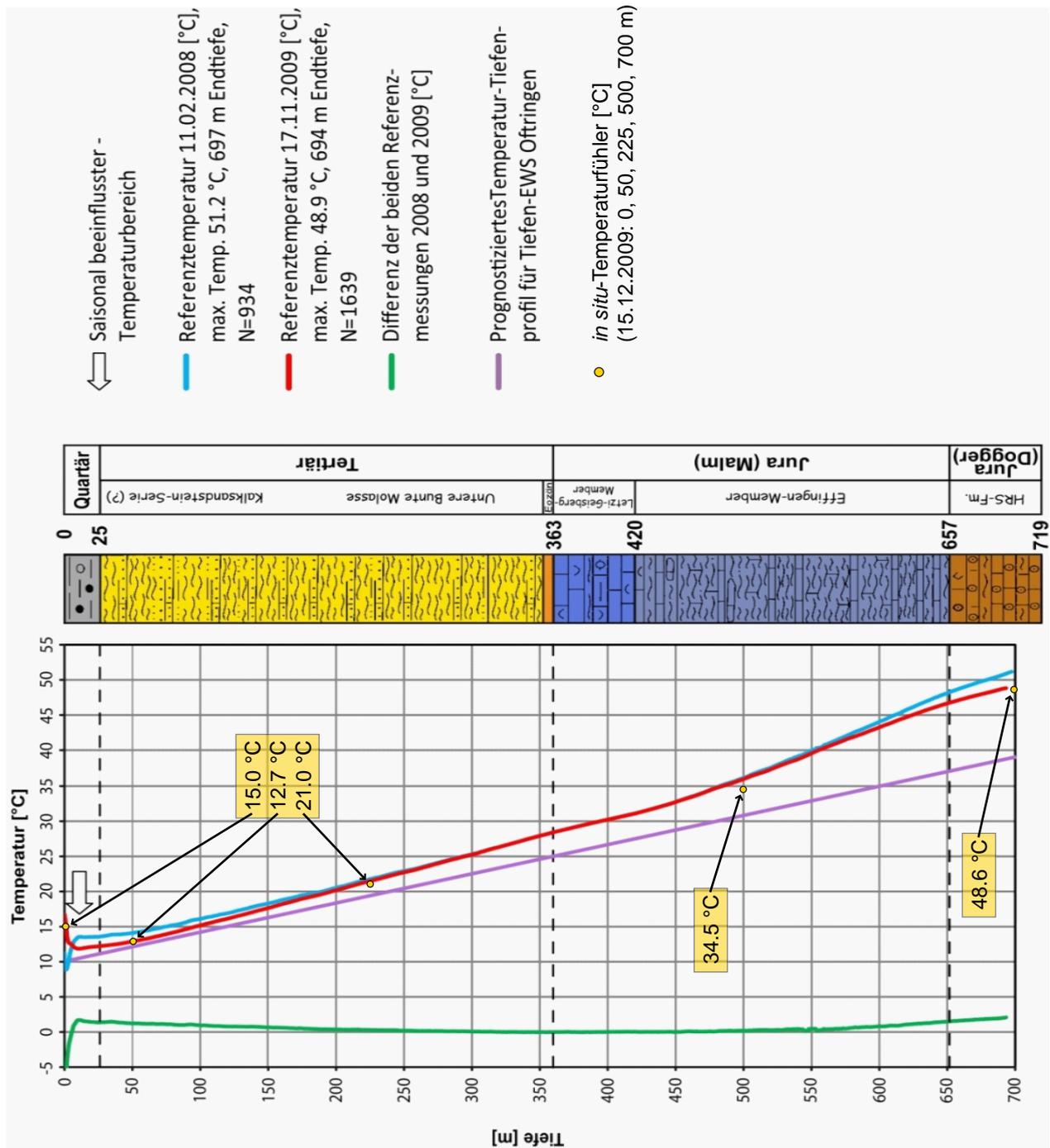
Standort der Tiefen-EWS von Oftringen (Satellitendaten: Google maps)



Schaltbild der Tiefen-EWS Pilotanlage auf dem Gelände des Axpo-Unterwerks in Oftringen



Gesteinstemperaturen mit stratigraphischer Abfolge und Kennzahlen der Tiefen-EWS Oftringen



| | |
|--|-------------------------------|
| Bohrtiefe | 719 m |
| Bohrdurchmesser | 8 ½" bis 5 ¾" |
| Sondlänge | 706 m |
| Sondentyp | Doppel-U-Sonde |
| Rohr | Polyethylen |
| Rohrdurchmesser | 40 mm |
| Rohr-Wandstärke | 4 mm |
| Auffüllmaterial | ThermoCem |
| Transportflüssigkeit (Forschungsprojekt) | Wasser und 20 % Ethylenglykol |
| Durchflussmenge (Forschungsprojekt) | 1'500 l/h bis 3'500 l/h |

