



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
**Bundesamt für Energie BFE**

**Schlussbericht** 1. März 2013

---

# **Geothermieprojekt Brig-Glis**

## **Geothermiebohrung Brigerbad - Phase 2**

---

**Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie BFE  
Forschungsprogramm Geothermie  
CH - 3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Kofinanzierung:**

Geothermie Brigerbad AG  
Thermalbad 1  
CH - 3900 Brigerbad

**Auftragnehmer:**

Planergemeinschaft "Geothermie Brig-Glis" c/o  
SRP Schneller Ritz und Partner AG  
Nordstrasse 16  
CH - 3900 Brig  
<http://www.srp.ch>

**Autoren:**

Marcos Buser (creato Ennetbaden), [marcos.buser@bluewin.ch](mailto:marcos.buser@bluewin.ch)  
Urs Eichenberger (ISSKA La Chaux-de-Fonds), [urs.eichenberger@isska.ch](mailto:urs.eichenberger@isska.ch)  
Jérôme Jacquod (Norbert SA), [geol-my@norbert-sa.ch](mailto:geol-my@norbert-sa.ch)  
Urban Paris (SRP Brig), [u.paris@srp.ch](mailto:u.paris@srp.ch)  
François Vuataz (CHYN / CREGE), [francois.vuataz@unine.ch](mailto:francois.vuataz@unine.ch)

**BFE-Bereichsleiter:** Gunter Siddiqi

**BFE-Programmleiter:** Rudolf Minder

**BFE-Vertrags- und Projektnummer:** 500'408 (alte Nr.102'505)

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Geothermie Brigerbad AG  
Bundesamt für Energie, Bern  
Stadtgemeinde Brig-Glis  
Elektrizitätswerk EnBAG, Brig-Glis  
FMV, Sion

# Geothermie Brig-Glis

## Geothermiebohrungen Brigerbad Phase 2:

### Schlussbericht Phase 2



März 2013

Planergemeinschaft "Geothermie Brig-Glis"

Marcos Buser (creato, Ennetbaden)  
Urban Paris (SRP, Brig)  
Jérôme Jacquod (Norbert SA, Martigny)  
François-D. Vuataz (Laboratoire de Géothermie, CHYN, Neuchâtel)

## **Impressum**

**Datum** März 2013

**Projekt** Geothermie Brig-Glis, Geothermiebohrungen Brigerbad Phase 2: Schlussbericht Phase 2

**Autoren** Marcos Buser, Urban Paris

**Finanzierung:** Geothermie Brigerbad AG

### **Adressen und Koordinaten:**

Planergemeinschaft Geothermie Brig-Glis  
ab 2013: c/o SRP Schneller Ritz und Partner AG,  
Nordstrasse 16, 3900 Brig

© PG Geothermie Brig-Glis  
Tel: 027 922 02 00

### **Zitierung**

PG Geothermie (2013): Geothermie Brig-Glis, Geothermiebohrungen Brigerbad Phase 2: Schlussbericht Phase 2, zuhanden Geothermie Brigerbad AG, Bundesamt für Energie BfE, Stadtgemeinde Brig-Glis, Elektrizitätswerk EnBAG Brig-Glis, FMV Sion, nicht publizierter Bericht

## **Zusammenfassung**

Im Jahr 2006 legte das Projekt “Alpine Geothermal Power Production” (AGEPP) eine erste Studie zur geothermischen Nutzung des tieferen Untergrundes im Wallis vor. Diese Studie bezeichnete das Gebiet um die Thermalquellen Brigerbad als eines der interessanten Gebiete für die Geothermie in der Schweiz.

Das Thermalbad Brigerbad, das die heissen Quellen seit den 50er Jahre des letzten Jahrhunderts nutzt, erwog schon seit geraumer Zeit, die Fassung der Thermalquellen zu verbessern. In Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Energie, regionalen Energieunternehmen sowie der Stadt Brig-Glis wurde ein Projekt für die geothermische Prospektion des Untergrundes im Raum Brigerbad lanciert. Phasen 1 und 2 konzentrierten sich auf den Standort des Thermalbads. Phase 3 beabsichtigt eine geothermische Prospektion in grösserer Tiefe abseits von Wohnzonen.

Die Projektphasen 1 und 2 wurden zwischen 2007 und 2011 geplant und ausgeführt. Zu den Untersuchungen am Standort Brigerbad gehörten umfangreiche Vorarbeiten im Bereich der Geologie und Hydrogeologie. Speziell zu erwähnen sind die strukturgeologischen Arbeiten, welche die Klüftungs- und Schieferungsmuster der Gesteine besser erfassten, die geophysikalische Untersuchung des Umfelds des Thermalbads mit Hybridseismik, sowie eine Auswertung der Hydrogeologie und sämtlicher verfügbaren hydrochemischen Daten.

Nachdem im Jahr 2008 zwei Vorbohrungen in eine Tiefe zwischen 160 und 180 m erste Erkenntnisse über die Wasser-Zirkulation im Untergrund geliefert hatten, ermöglichte die Bohrkampagne 2008-2010 mit Hilfe von zwei tieferen, gekernten Bohrungen wertvolles Wissen vom Standort und seinem Untergrund zu gewinnen. Die knapp 300m respektive 500m tiefen Bohrungen 08-BR1 und 10-BR2 förderten sehr viel Thermalmischwasser (55 m<sup>3</sup>/h im Standard-Badbetrieb) bei hohen Temperaturen zu Tage (ca. 38°C ohne festgestellte Abkühlung). Die beiden Brunnen stellen das Thermalwasser für einen erweiterten Betrieb des Thermalbads Brigerbad auf lange Sicht sicher. Die Felstemperatur bei 500 m beträgt rund 60°C, doch zeigten speziell auf die Frage der Fliesswege im Untergrund ausgerichtete Versuche (Packertest), dass die Fliessraten in den erbohrten Strecken mit der Tiefe stark zurückgehen. Es darf aber als gesichert gelten, dass die Temperaturen der Tiefenwässer wie auch die Wasserzirkulation in Richtung der Kontaktzone zwischen Aaremassiv und Sedimentdecken zunehmen. Die chemischen und radiochemischen Analysen lieferten weitere wertvolle Felddaten über die Zusammensetzung und die Herkunft der verschiedenen Mischwässer, die für die Planung der weiteren Erkundung des Tiefuntergrundes von grossem Nutzen sein dürften. Schliesslich zeigte die mikroseismische Überwachung, dass keine messbaren Erschütterungen von der Bohrtätigkeit oder durch den Pumpbetrieb der Brunnen ausgingen.

Aufgrund des sehr positiven Verlaufs der ersten beiden Etappen des Projekts steht heute der weitere Verlauf des Projektes zur Diskussion. Die mit den bisher ausgeführten Arbeiten betraute Planergemeinschaft empfiehlt einerseits, das bisherige Überwachungsprogramm der Tiefenwässer mit hydrochemischen, radiochemischen und fluorometrischen Analysen für die Quellen und Brunnen des Thermalbads und seiner Umgebung sowie die mikroseismische Überwachung am Standort fortzuführen. Andererseits empfiehlt die Planergemeinschaft, die weitere Prospektion des Tiefuntergrundes im Raum Brig-Glis fortzuführen, allerdings entkoppelt von den Anliegen des Thermalbads Brigerbad. Die künftigen Möglichkeiten der Erschliessung des Untergrundes sowie der Förderung und Nutzung des heissen Tiefenwassers sollten umfassend abgeklärt und ein entsprechendes Projekt aufgelegt werden.



## ***Inhaltsverzeichnis***

<b>1</b>	<b>Ausgangslage und Zielsetzung.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Projektteam für die Erkundungsarbeiten in der Phase 2 .....</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>Überblick über das Vorgehen und die erfolgten Untersuchungen .....</b>	<b>12</b>
3.1	Vorkenntnisse.....	12
3.2	Ergebnisse der Phase 1 (Vorprojekt) .....	12
3.3	Vorgehen in der Phase 2 (Thermalwasserbohrungen) .....	12
<b>4</b>	<b>Geologisch-hydrogeologischer Überblick .....</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>Ergebnisse der Untersuchungen der Phase 2 .....</b>	<b>19</b>
5.1	Vorbereitende Arbeiten .....	19
5.2	Wichtigste Ergebnisse der Felduntersuchungen .....	28
5.3	Wichtigste Ergebnisse der hydrochemischen, radiochemischen und seismologischen Untersuchungen .....	45
<b>6</b>	<b>Synthese der Ergebnisse und Empfehlungen für das weitere Vorgehen.....</b>	<b>56</b>
6.1	Wichtigste Ergebnisse.....	56
6.2	Empfehlungen .....	58
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>59</b>

## *Verzeichnis der Figuren*

- Figur 1:** Standort des Thermalbads Brigerbad im Wallis unterhalb von Brig (Kloos 2004)
- Figur 2:** Generelles Ablaufschema für das Projekt Tiefengeothermie Brig-Glis
- Figur 3:** Organigramm Phase 2, wichtigste beteiligte Firmen und Personen
- Figur 4:** Prognosen für mögliche Ausrichtung der Bohrungen Phase 2 in Brigerbad (ISSKA 2009)
- Figur 5:** Thermalbad Brigerbad und Überblick über die Badanlagen und das Areal für die Bohrungen (nach PG Geothermie Brig-Glis 2008).
- Figur 6:** 3D-Ansicht des Rhonetals im Bereich Brigerbad (nach ISSKA 2009).
- Figur 7:** Querschnitt durch das Rhonetal im Bereich Brigerbad (nach PG 2009b)
- Figur 8:** Die im Feld identifizierten Kluftfamilien in zwei Rosetten im Bericht von Norbert et al (2008)
- Figur 9:** Unteransicht der durch GeoExperts 2008 aufgezeichneten seismischen Profile
- Figur 10:** Geologische Interpretation der seismischen Profile 1 (links) und 3 (rechts) nach ISSKA (2009)
- Figur 11:** Geologische Interpretation der verschiedenen Untersuchungsbefunde von unten her gesehen, nach ISSKA (2009)
- Figur 12:** Unteransicht aller relevanten Elemente im Bereich des Fassungsbauwerks
- Figur 13:** Temperaturprofile in den beiden geneigten Erkundungsbohrungen BB1 und BB2 aus Norbert et al. (2008, Annexe 3-h).
- Figur 14:** Temperatur- und Leitfähigkeitsbeziehungen der verschiedenen Grund- und Thermalwässer im Nahfeld des Brigerbads, aus Norbert et al. (2008, Annexe 5-a)
- Figur 15:** Temperaturprofile in den Erkundungsbohrungen BB1 und BB2 (rot und orange) und den Bohrungen in Lavey-les-Bains (P201, P205, P12). Aus Norbert et al. 2008 (annexe 5c)
- Figur 16:** Bohrergerät der Firma Anger's Söhne, Hessisch Lichtenau
- Figur 17:** Schematisches geologisches Profil nach Ausführung der Untersuchungen der Phase 2 (nach Norbert 2010)
- Figur 18:** Aufnahmen eines Bohrkern (Gneise Kristallin Aare-Massiv) aus 08-BR1 (links), faseriger Aktinolith aus einer Kluftfläche aus 10-BR2
- Figur 19:** Ausschnitt aus den Bohrlochscanner-Aufnahmen der Bohrung 10-BR2 vom 20. April 2010, Klüftung (grün) und Schieferflächen
- Figur 20:** Verlauf der vier, im Brigerbad ausgeführten Bohrungen (well track) nach ISSKA
- Figur 21:** Temperaturverlauf in den Erkundungsbohrungen BB1, BB2, 08-BR1 und 10-BR2 (alle Brigerbad) und P12, P201 und P205 (Lavey-les-Bains) gemäss Norbert (2010).
- Figur 22:** Well track (Bohrloch-Verlauf) der vier Bohrungen im Brigerbad (nach ISSKA)
- Figur 24:** Pump- und Anstiegsversuche im Bohrloch 10-BR2, Verlauf der Absenkung (oben), der Temperatur (mitte) und der Leitfähigkeit (unten), Norbert (2010, Anhang C-12)
- Figur 23:** Pumpversuche und Verlauf der Wassertemperaturen in den Brunnen 08-BR1 (oben) und 10-BR2 (unten), aus Norbert (2010)
- Figur 25:** Schema des High-Q-Doppelpackersystems (links), beprobte Intervalle und kumulierte Fördervolumen bei Zeitpunkt Probenahme (gemäss Solexperts 2010a).
- Figur 26:** Thermalwässer, Quellzuflüsse und Piezometer im weiteren Umfeld des Brigerbads
- Figur 27:** Beziehungen zwischen gemessener Temperatur, der Chlorid- und der Sulfatgehalte der Wässer und dem Gesamtgehalt gelöster Stoffe (Vuataz et al. 2011)
- Figur 28:** Im Grundwasser dominierende Radionuklide und ihre Verteilung im Untergrund respektive im Grundwasser (nach Nucfilm 2010)
- Figur 29:** Uran-, Radium- und Radonkonzentrationen in der Bohrung 10-BR2 und Vergleich mit den Konzentrationen der heissen Quelle des alten Bades



- Figur 30:** Vier Beispiele der graphischen Darstellung der Messergebnisse von Inhaltsstoffpaaren und lineare Regression mit Pearsons Korrelations-Koeffizient
- Figur 31:** Epizentren der in der Tabelle 4 aufgeführten Erdbeben, die an der Station BIBA im Brigerbad registriert wurden.

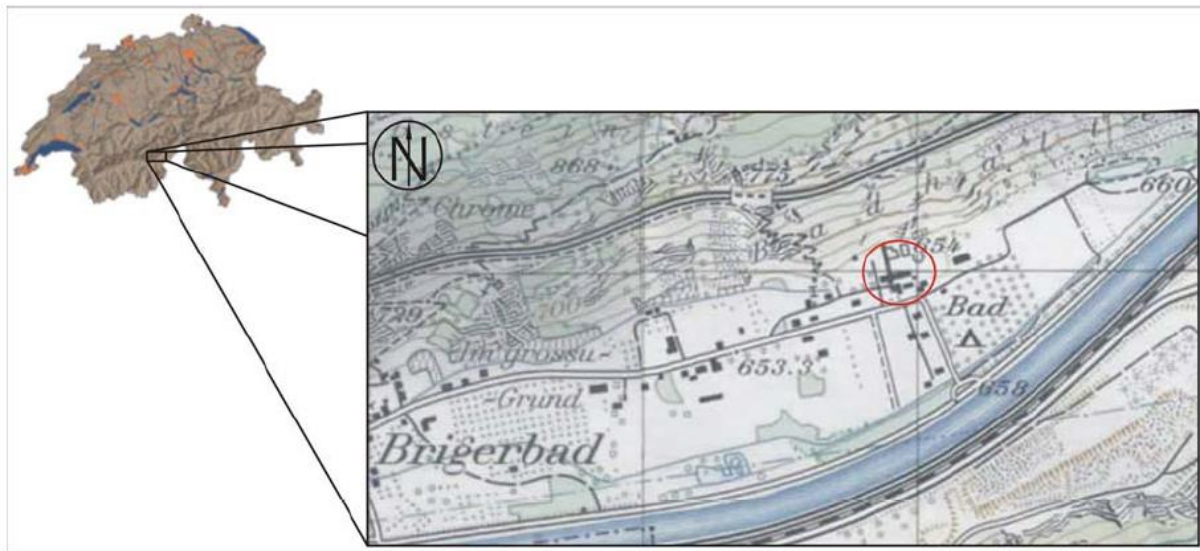
## ***Verzeichnis der Tabellen***

- Tabelle 1:** Pumpversuche in den Brunnen 08-BR1 und 10-BR2
- Tabelle 2:** Intervalle, getestete Tiefenbereiche, Pumpraten und Temperaturen
- Tabelle 3:** Analysierte Wasserinhaltsstoffe der täglich entnommenen Proben (5.11. bis 16.12 2010) sowie der Gesamtmenge der 301 entnommenen Proben: Charakterisierung der Beziehung zwischen Inhaltsstoffpaaren
- Tabelle 4:** Registrierte Erdbeben im Umkreis von 20 km von der Station BIBA im Brigerbad (Ortsbezeichnungen gemäss topographischen Karten 1:25'000, swisstopo)



## 1 Ausgangslage und Zielsetzung

Das Thermalbad Brigerbad liegt wenige Kilometer unterhalb der Stadt Brig an der rechten Talflanke des Rhone-tals (Figur 1). Seit historischen Zeiten sind die Thermalauftösse an diesem Standort bekannt. Doch erst seit rund 50 Jahren werden die warmen Quellen in einem schrittweise ausgebauten, modernen Thermalbad genutzt.

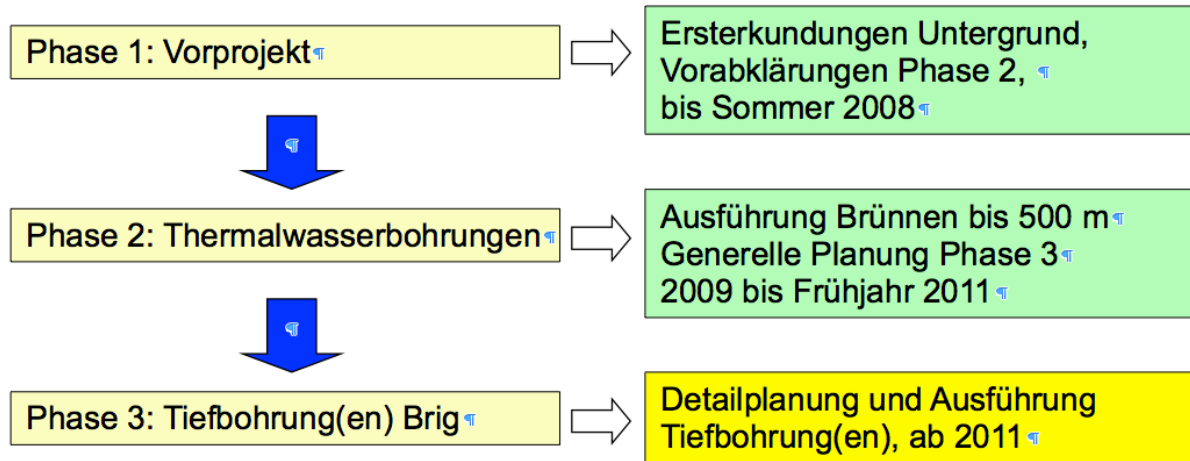


**Figur 1:** Standort des Thermalbads Brigerbad im Wallis unterhalb von Brig (aus Kloos 2004)

Seit vielen Jahren hatte das Thermalbad bereits die Möglichkeit erwogen, die Thermalquellen mit einer tieferen Bohrung zu fassen. Doch stellte es die konkrete Umsetzung dieser Massnahme trotz ungünstiger hydrogeologischen Entwicklungen im Raum Brigerbad zurück. Mit der Ankündigung des Projekts zur dritten Rhonekorrektur entstand aber eine neue Situation. Die bereits durch die Sanierung der Deponie Gamsenried der Lonza empfindlich beeinflusste oberflächennahe Hydrogeologie könnte sich - so wurde befürchtet - durch den hydraulischen Eingriff der 3. Rottenkorrektur zusätzlich verschärfen. Parallel dazu erschien der Zeitpunkt für eine solche Massnahme aus betrieblichen Gründen günstig.

Das Thermalbad erteilte deshalb verschiedenen Beratern den Auftrag, nach Möglichkeiten für die Fassung und Sicherung der Thermalwässer zu suchen. In der Folge konstituierte sich im Jahre 2007 die Planergemeinschaft Geothermie Brig-Glis. Diese Planergemeinschaft setzte sich zum Ziel in mehreren Etappen den Tiefuntergrund der Gemeinde Brig-Glis durch Geothermiebohrungen zu erschliessen. Sie entwickelte ein Programm zur schrittweisen Erkundung des Tiefuntergrundes mit Hilfe von Bohrungen (PG Geothermie Brig-Glis 2008), das auch den Bedürfnissen des Thermalbads Brigerbad zur Neufassung und Sicherung von Thermalwässern Rechnung trägt.

In einer ersten Phase zwischen Juni 2007 und Mai 2008 wurde das Gesamtprojekt entwickelt und eine Vorerkundung auf dem Gelände des Thermalbads Brigerbad ausgeführt. Die Ergebnisse der beiden Erkundungsbohrungen BB1 und BB2 waren soweit ermutigend (Alpgeo & Norbert 2008, PG Geothermie Brig-Glis 2008), dass ab Juni 2008 die zweite Phase des Projektes in Angriff genommen werden konnte (siehe Figur 2).



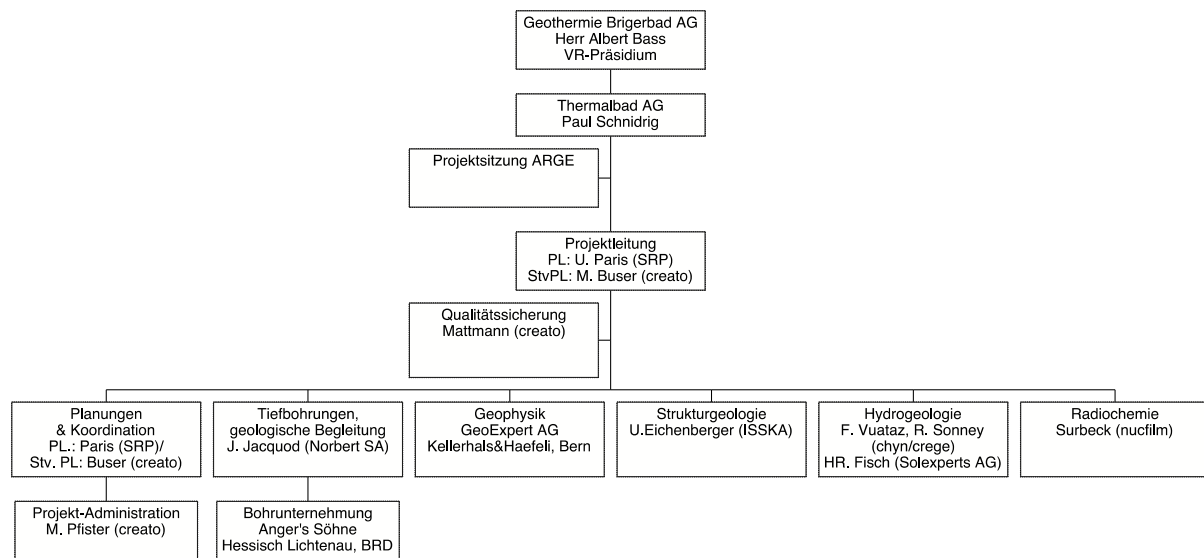
**Figur 2:** Generelles Ablaufschema für das Projekt Tiefengeothermie Brig-Glis

In der Phase 2 erfolgten im Auftrag der neu gegründeten Geothermie Brigerbad AG umfangreiche Vorerkundungen (Phase 2a). Auf dieser Grundlage wurden zwischen November 2009 und April 2010 zwei Bohrungen von knapp 290 m und 500 m zur Deckung der Bedürfnisse des Thermalbads abgeteuft (Phase 2b). Es wurden verschiedene Untersuchungen in den beiden Brunnen ausgeführt, um die hydraulischen Charakteristiken des Untergrundes besser zu erfassen.

Der vorliegende Schlussbericht stellt die ausgeführten Arbeiten bis Ende Phase 2 zusammen.

## 2 Projektteam für die Erkundungsarbeiten in der Phase 2

Die Ausführung der Bohrungen erforderte eine sorgfältige fachtechnische und wissenschaftliche Planung. Diese Planung erfolgte unter Beizug von Spezialisten aus den verschiedenen benötigten Disziplinen. Es wurde sorgsam darauf geachtet, dass alle relevanten Fragestellungen und Risikofragen durch das Team abgedeckt wurden. Figur 2 führt die wichtigsten Partner des Projektes respektive die wichtigsten beigezogenen Firmen auf (Figur 3).



**Figur 3:** Organigramm Phase 2, wichtigste beteiligte Firmen und Personen

Die Fachspezialisten leisteten folgende Tätigkeiten:

- Projektplanung und Koordination der Arbeiten, Überwachung und Synthesen: Urban Paris (SRP), Marcos Buser (creato);
- Ausführung Bohrungen (Seilkernbohrungen): Anger's Söhne, Hessisch Lichtenau, Deutschland;
- Aufnahme Kernbohrung 08-BR01: Marie-José Gilbert, Universität Bern, unter Leitung von Prof. Dr. Adrian Pfiffner;
- Geologische Begleitung Bohrungen und Aufnahme 10-BR2: Norbert SA, Jérôme Jacquod, Anne-Lise Bourgeix, Florence Bégué;
- Geophysikalische Untersuchungen: W. Frei (GeoExpert), Hybridseismik; Diego Baccalà (Kellerhals & Haefeli), Bohrloch-Logs und Packertests in Zusammenarbeit mit Hansruedi Fisch, Solexperts AG, und Terratec Heitersheim (BRD);
- Strukturgeologische Aufnahmen und Modellierung: Urs Eichenberger (Schweizerisches Institut für Speläologie und Karstologie SSKA, La Chaux-de-Fonds);
- Hydrogeologie und Hydrochemie: François-D. Vuataz, Romain Sonney, Niels Giroud und Eline Mignot, Laboratoire de Géothermie, CHYN, Universität Neuenburg, Monitoring Quellen und Thermal-Wässer und Wasseranalytik;
- Radiochemie: Heinz Surbeck, radiochemisches Monitoring Quellen und Thermal-Wässer und Analytik, Nucfilm GmbH;
- Erdbebenüberwachung: Seismologisches Monitoring durch den Schweizerischen Erdbebendienst (SED), Stephan Husen und Toni Kraft, und Fluoreszenzmessungen der Thermalwässer durch die ETH, Institut für Ingenieurgeologie, Werner Balderer.

## 3 *Überblick über das Vorgehen und die erfolgten Untersuchungen*

### 3.1 Vorkenntnisse

Geologische Untersuchungen in der weiteren Umgebung des Brigerbads erfolgten in erster Linie im Rahmen von Feldarbeiten und Kartenaufnahmen (Steck 1968, 1984; Dolivo 1983, Burri 1991) sowie im Rahmen der umfangreichen Planungen des Lötschbergtunnels (Geologengruppe Lötschberg-Basistunnel 2007; BLS Alt Transit AG 1994-1997) und der Autobahn A9. Diese Arbeiten geben einen guten ersten Einblick in den generellen geologischen und den komplexen strukturellen Aufbau des Gebietes.

Erste umfassende Wasser- und Isotopen-Analysen der Thermalquellen und Interpretationen zur geothermischen Bedeutung erfolgten im Zeitraum 1977-1978 seitens der Universität Genf (Vuataz 1982). Diese Untersuchungen wurden im Rahmen von geothermischen Evaluationen der Ressourcen im Wallis aufgearbeitet und vertieft (CRSFA 1992, Agepp 2006). Im Jahr 2004 erschien eine Diplomarbeit des CHYN mit einer neuen, umfassenden Untersuchung der Thermalquellen im Brigerbad (Kloos 2004).

### 3.2 Ergebnisse der Phase 1 (Vorprojekt)

Doch wurden erst mit dem vorliegenden Projekt vertiefte hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen und Modellierungen eingeleitet.

In der ersten Phase des Projektes überprüfte die PG Geothermie Brig-Glis den Standort auf seine potentielle Eignung für die Fassung von Thermalwässern.

In der ersten Phase des Projektes "Tiefbohrung(en) Geothermie Brig-Glis" ging es darum, die Frage zu beantworten, inwieweit Tiefbohrungen zur Fassung der Thermalwässer Erfolg haben könnten, beziehungsweise mit was für Risiken bei der Erbohrung des Untergrundes zu rechnen sei. Diese Vorerkundungen sollten das geologische und hydrogeologische Umfeld besser charakterisieren und Entscheide über das weitere Vorgehen erleichtern. Das Untersuchungskonzept umfasste strukturgeologische Felduntersuchungen und Auswertungen und die Auswertung hydrogeologischer Daten. Darauf beruhend wurde das Areal für die beiden Erkundungsbohrungen die Orientierung von zwei Rotationskernbohrungen und ein hydrogeologisches Test- und Monitoring-Programm festgelegt (Norbert & Alpgéo 2008). Schliesslich standen in dieser ersten Phase auch Überlegungen zu möglichen finanziellen Risiken für das Thermalbad bei einer allfälligen Nicht-Fündigkeit der Ressource zur Diskussion.

Die beiden bis 160 m tiefen Bohrungen bestätigten die Klüftigkeit des Gesteins, die Orientierung der Störungszonen oder Schieferungsflächen und die guten Durchlässigkeiten im Kristallin. Zugleich legten die Ergebnisse der Pumpversuche ein grösseres Thermalwasserreservoir in geringer Tiefe nahe.

### 3.3 Vorgehen in der Phase 2 (Thermalwasserbohrungen)

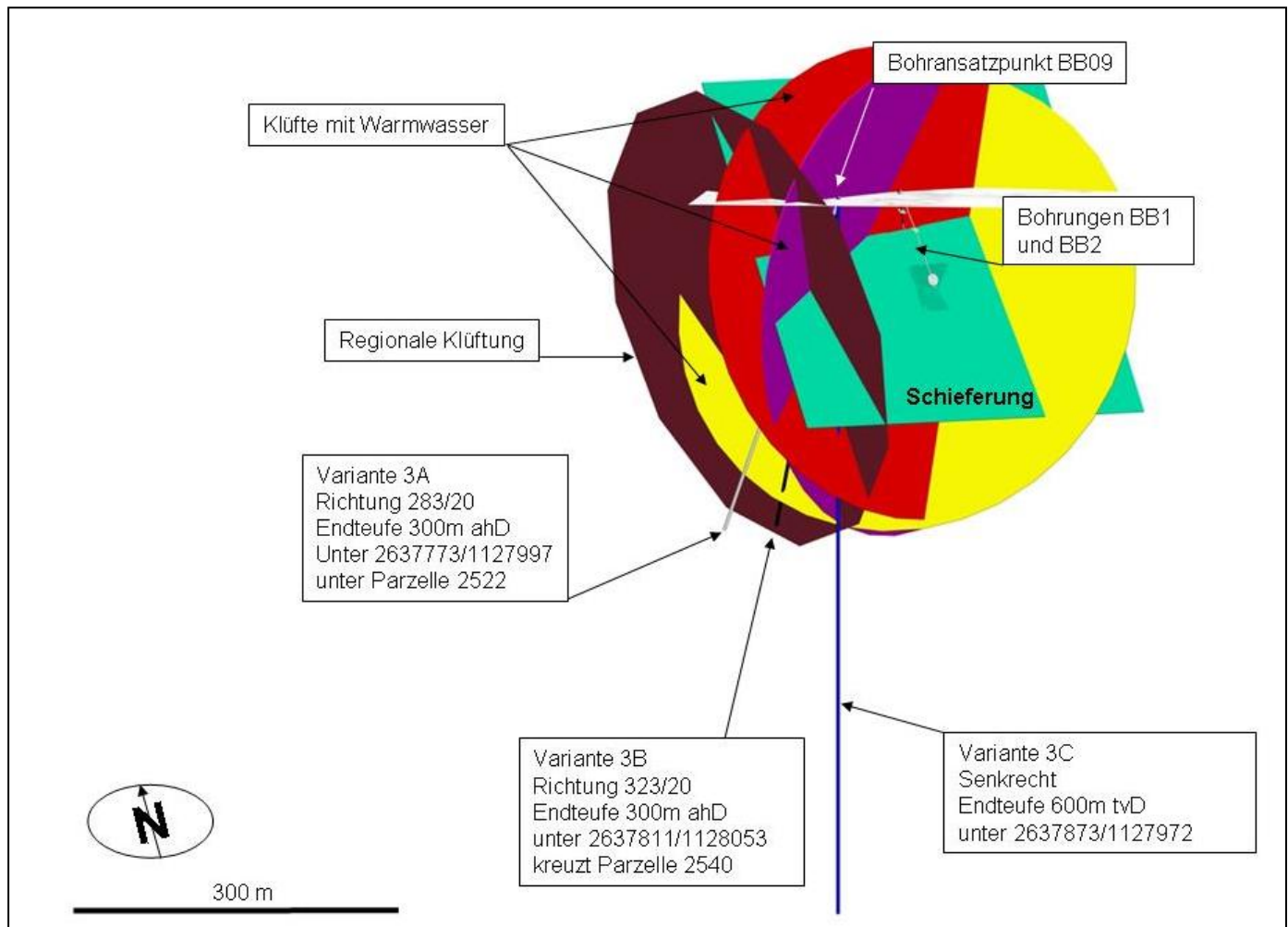
Nach den grundsätzlich positiven Befunden der "Pilot"-Phase orientierte sich die PG Geothermie Brig-Glis zu Beginn der Phase 2 an drei Schwerpunkten:

- Ergänzende Feldarbeiten, insbesondere strukturgeologischer Natur (siehe Figur 4)
- Analyse der Rahmenbedingungen für die Erschliessung und Nutzung des Tiefengrundwassers
- Entwicklung eines Untersuchungskonzepts Phase 2 unter Berücksichtigung des Investitionsbedarfs und der Risiken.

Zudem wurde aufgrund der Angaben und Wünsche des Thermalbads Brigerbad das Areal festgelegt, auf dem die neuen Tiefbohrungen abgeteuft werden sollten (Figur 5). Wir fassen die wichtigsten Arbeiten und die Zeiträume, während der diese ausgeführt wurde, kurz zusammen und unterscheiden dabei drei grössere Arbeitsetappen innerhalb dieser Phase 2:

## Etape A Vorerkundung: Vorbereitende Arbeiten (Herbst 2008 – März 2009)

- Auswertung der geologischen, hydrogeologischen und strukturgeologischen Arbeiten und geophysikalischen Kenntnisse des weiteren Umfeldes unter Berücksichtigung der lokalen und regionalen Geologie sowie der Bohrungen der Nationalstrassen und der Neat (Lötschberg): PG Geothermie Brig-Glis
- Definition von weiteren Untersuchungen Offertstellungen und Zusammenstellung Arbeitsteam: PG-Geothermie Brig-Glis
- Geophysikalische Erkundungen des Untergrundes mit Hilfe von Hybridseismik (3 Linien): GeoExpert AG
- Strukturgeologische Zusatzuntersuchungen (Feldmessungen Klüfte, Zusammenstellung von Felddaten): ISSKA
- Hydrochemische und radiochemische Analysen sowie Interpretationen: CHYN und Nucfilm
- Konstruktion eines 3D-Modells unter Berücksichtigung aller Felddaten: ISSKA
- Synthese aller Daten, Prognosen für die optimale Ausrichtung der Bohrungen: ISSKA / PG Geothermie Brig-Glis (siehe Figur 4).



**Figur 4 :** Prognosen für mögliche Ausrichtung der Bohrungen Phase 2 im Brigerbad (ISSKA 2009)

## **Etappe B      Tiefbohrungen (April 2009 – Mai 2010)**

- Festlegung der Ausrichtung der ersten Bohrung 08-BR 1 (Variante 3B, Richtung 323°/20°): PG Geothermie Brig-Glis und die am Projekt beteiligten Geologen
- Sicherstellung des seismologischen Monitorings ab November 2009: Schweizerischer Erdbebendienst (SED)
- Ausführung der Schrägbohrung 08-BR1 bis – 282.6 m Tiefe : Anger's Söhne, April bis Mai 2009 und November bis Ende Dezember 2009
- Geologische und hydrogeologische Begleitung der Bohrung: PG Geothermie Brig-Glis und die am Projekt beteiligten Geologen, fortlaufend
- Durchführung der Bohrlocherkundungen in 08-BR1(Logs) insbesondere Temperatur- und Leitfähigkeitsmessungen, Flowmeter,  $\gamma$ -Log, Caliper (Bohrlochgeometrie), Wasseranalytik, Kurzpumpversuche erste Interpretation, bis Ende Dezember 2009: durch die am Projekt beteiligten Geologen (Kellerhals&Haefeli, Solexperts, CHYN)
- Festlegung der Ausrichtung der zweiten Bohrung 10-BR 2 (Variante 3C): PG Geothermie Brig-Glis und die am Projekt beteiligten Geologen
- Ausführung der Vertikalbohrung 10-BR2 auf -499.3 m Tiefe, zwischen Februar und April 2010: Anger's Söhne
- Durchführung der Bohrlocherkundungen in 10-BR2 (Logs), insbesondere Temperatur- und Leitfähigkeitsmessungen, Flowmeter,  $\gamma$ -Log, Caliper (Bohrlochgeometrie), Packertests zur Bestimmung der Zuflüsse entlang von einzelnen Zuflusstrecken, Wasseranalytik. Kurzzeit-Pumptests in 10-BR2 und kombiniert in 08-BR1: durch die am Projekt beteiligten Geologen (Kellerhals&Haefeli, Solexperts, CHYN)
- Erst-Interpretation der Ergebnisse, bis Anfangs Mai 2010: PG Geothermie Brig-Glis und die am Projekt beteiligten Geologen
- Ausrüstung der Bohrungen mit GFK-Rohren 4½", geschlitzt, April-Mai 2010, Anger's Söhne

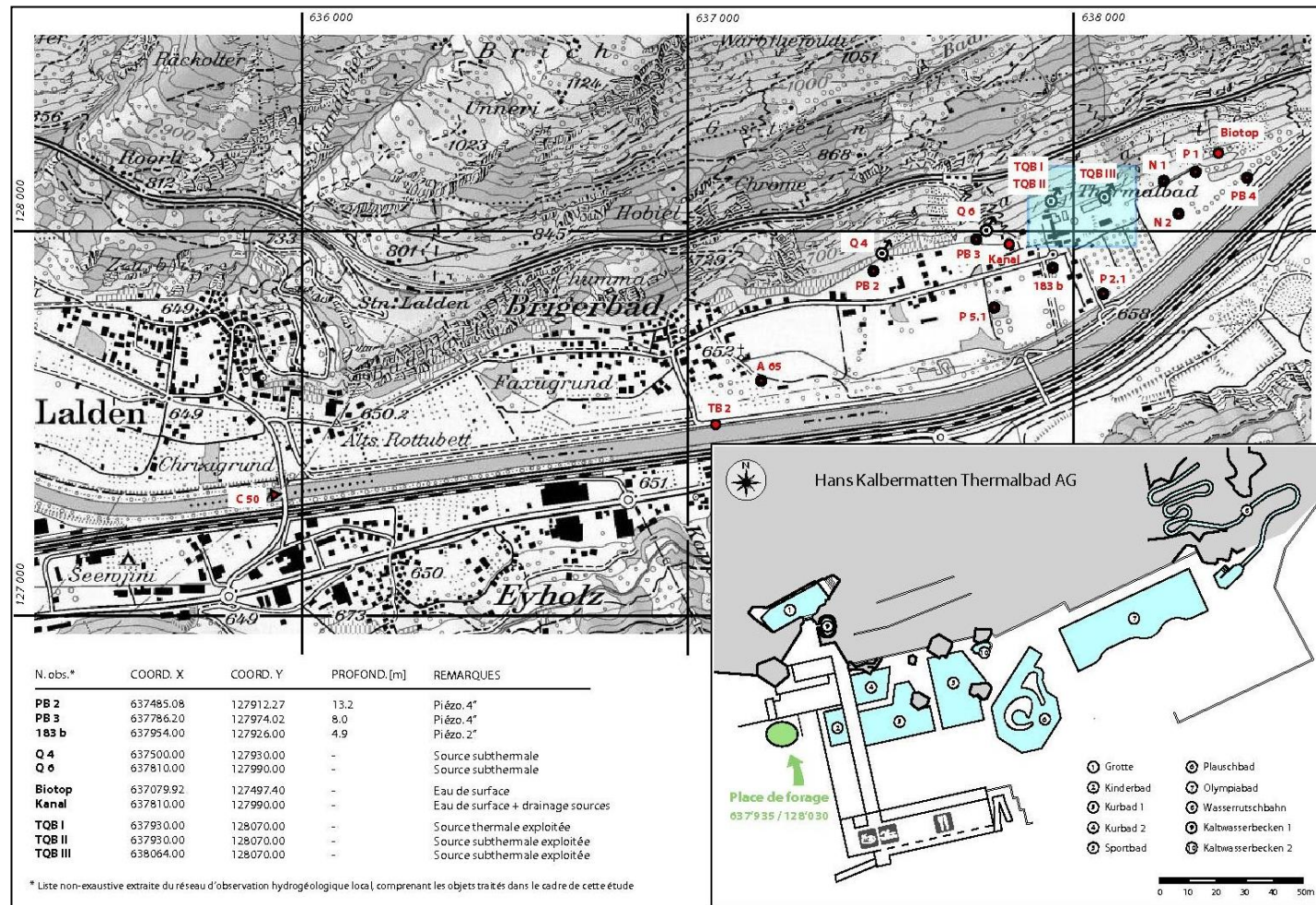
## **Etappe C      Auswertungen und abschliessende Untersuchungen (Mai 2010 – Februar 2011)**

### Abschliessende Untersuchungen

- Zusammenstellung der geologischen und hydrochemischen Daten: PG Geothermie Brig-Glis und die am Projekt beteiligten Geologen
- CHYN (2011) : Hydrochemische Untersuchungen und Modellierungen am Standort Brigerbad, Masterarbeit CHYN/CREGE
- Auswertung der Daten des seismologischen Monitorings: Schweizerischer Erdbebendienst (SED)
- Auswertung der Daten des Monitorings der natürlichen Fluoreszenz: ETH Zürich, Ingenieurgeologie (Werner Balderer)

Der vorliegende Bericht ist eine Synthese der oben aufgeführten Arbeiten.



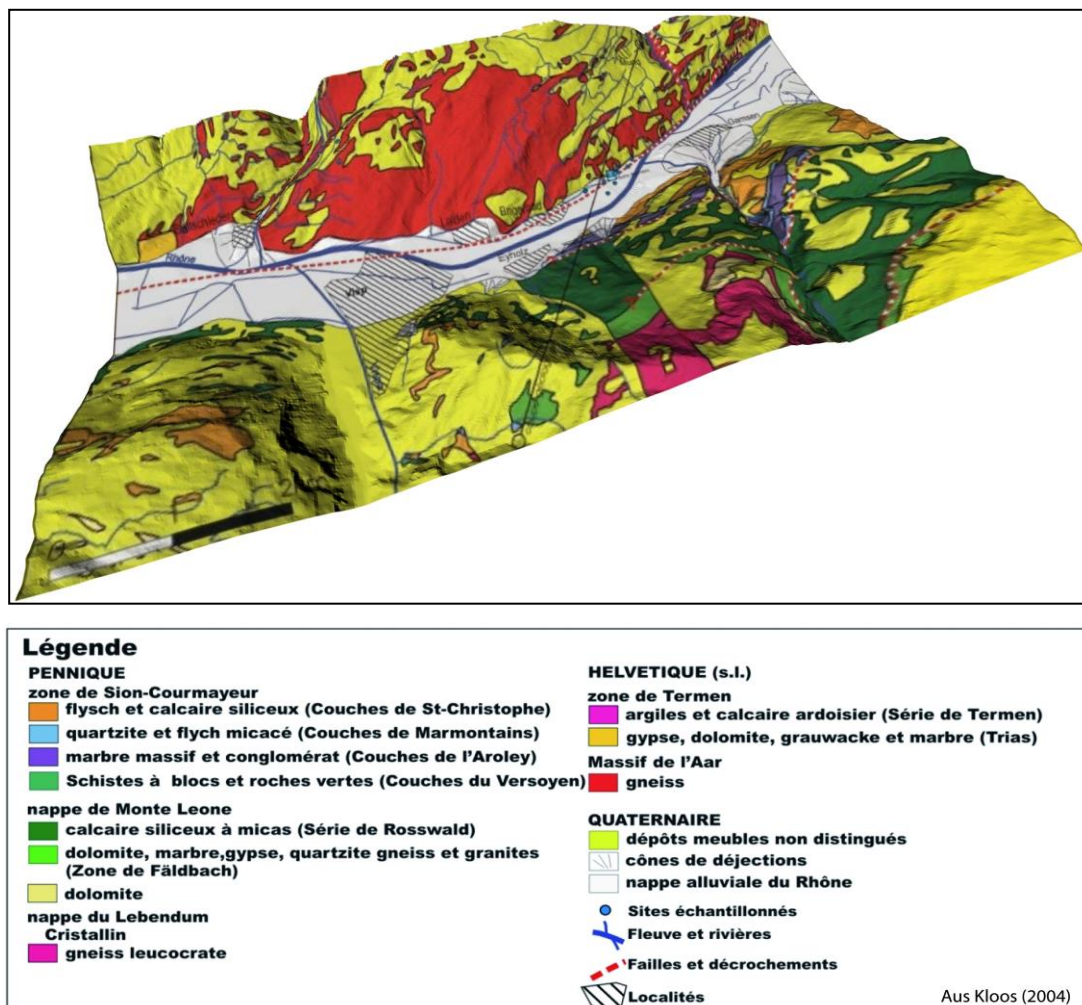


**Figur 5:** Thermalbad Brigerbad und Überblick über die Badanlagen und das Areal für die Bohrungen (nach PG Geothermie Brig-Glis 2008). Dargestellt sind auch die Standorte der bisher genutzten Thermalquellen und der natürlichen Thermalwasseraufstösse sowie die Bohrungen des hydrogeologischen Überwachungsnetzes

## 4 Geologisch-hydrogeologischer Überblick

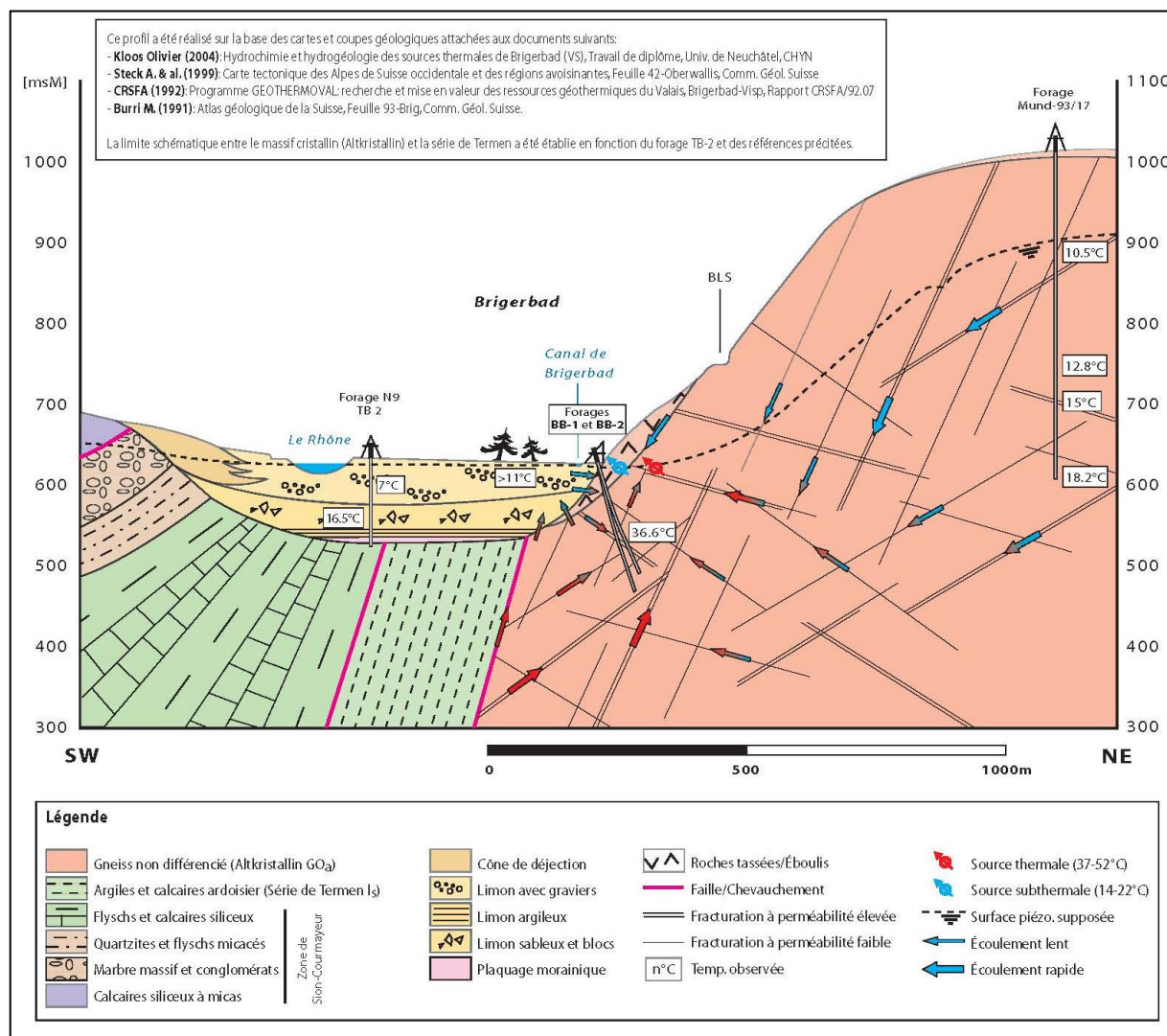
Das Untersuchungsgebiet befindet sich am Südfuss des Aaremassifs im Oberwallis zwischen Brig und Visp.

Geologisch wurde dieses Gebiet durch die alpine Orogenese wesentlich umgestaltet und im Laufe der verschiedenen Gebirgsbildungsprozesse sehr stark beansprucht. Im weiteren Umfeld des Thermalbads kommen verschiedene tektonische Einheiten vor, insbesondere das Aarkristallin, mit schön ausgebildeten Augengneisen, und das von Schieferungsflächen und mylonitischen Zonen geprägt wird. Am steilen nach Süden einfallenden Kontakt zu Aarkristallin, aber unterhalb der quartären Bedeckung, findet der Übergang zu den helvetischen und penninischen Einheiten statt. Das Helvetikum (Termen-Zone mit karbonatischen Serien und untergeordnet Tonschiefern; Urseren-Zone mit permischen Arkosen und Konglomeraten) ist mit Sicherheit stark ausgedünnt. Im Süden schliesst dann die Zone von Sion-Courmayeur an, die bereits den penninischen Sedimentdecken zugeordnet wird. Alle Einheiten tauchen steil nach Süd-Südosten ein (siehe Figur 6 und 7).



**Figur 6:** 3D-Ansicht des Rhonetals im Bereich Brigerbad auf der Basis des numerischen Geländemodells (MNT 25 m) und der verfügbaren geologischen Information (Kloos 2004) sowie Profils pur der Figur 7 (nach ISSKA 2009). Der betrachtete Ausschnitt misst 36 x 27 km, die Rhone quert ihn von E (rechts) nach W (links)





**Figur 7:** Querschnitt durch das Rhonetal im Bereich Brigbad gemäss Profilschneise de Figur 6 (nach PG 2009b) und erste grobe Interpretation der möglichen Thermalwasserzirkulation im Aare-Kristallin

Als wichtiges strukturelles Element treten die steilstehenden, mehr oder weniger N-S-gerichteten Kluftsysteme in Erscheinung, die mit der spätorogenen, alpenparallelen Extension in diesem Raum in Verbindung gebracht werden. Diese Kluftsysteme reichen vom Innern des Aare-Kristallins (Leukerbad) bis in den frontalen Bereich der höheren überschobenen helvetischen Decken (Wildhorndecke). Über ihren Tiefgang (mehr als einige hundert Meter Tiefe) sind keine gesicherten Kenntnisse vorhanden.

Die Gesteine des Aarmassivs sind - vor allem entlang der Kontaktzone mit den Sedimentdecken - intensiv geklüftet. Das Kluftgeschehen wurde im Feld sowie in den Bohrungen am Standort direkt aufgenommen und in Bezug zu den regionalen Strukturen gesetzt. Über den Zustand Gesteine und insbesondere des Kristallins an der Kontaktzone liegen keine gesicherten Ergebnisse vor.

Thermale Quellen stossen im Wallis hauptsächlich an den Kontakten zu den externen kristallinen Massiven auf (Mont-Blanc / Aiguilles-Rouges mit Lavey-les-Bains, Saxon, Saillon und Aarmassiv mit Leukerbad und Brigerbad sowie den Thermalaufrissen im Lötschbergtunnel, AGEPP 2006). Die Zirkulation der tiefen Wässer sind im Wesentlichen an zwei Elemente gebunden (CRSFA 1989):

- Achsenparallel zum Rhonetal verlaufende Flächen (Schieferungsflächen und grosstektonische Störungszonen).
- Störungszonen im Innern des Kristalinmassivs (z. B. Mylonite, Klüfte), wie sie im Lötschberg-Basistunnel und den Sondierbohrungen (z. B. Mund) angetroffen werden.

Die struktureologischen Elemente wurden im Detail im Rahmen der Projektierung und Ausführung des Lötschberg-Basistunnels (BLS Alp Transit 1994-1997; Geologengruppe Lötschberg-Basistunnel 2007) sowie im Rahmen von struktureologischen Arbeiten (z. B. Steck 1968, 1984) aufgenommen. Eine auf das Wallis zugeschnittene und gesicherte regionale Erklärung der Thermalwasseraufstösse und ihrer Beziehung zu diesen strukturellen Gegebenheiten steht aber heute noch aus, trotz intensiver Forschungstätigkeit. Das Zusammenspiel zwischen achsenparallelen Grossstrukturen und quer dazu stehenden Kluftsystemen jüngerer alpinen Datums scheint ein wichtiges Element für die Zirkulation der tiefen Wässer darzustellen. Unter den heutigen Gegebenheiten sind weitergehende Aussagen nicht hinreichend belastbar. Interessant ist aber, dass die hydrochemischen und radiochemischen Analysen wesentliche Erkenntnisse über die Tiefenzirkulation stützen (siehe Kapitel 5).

## 5 *Ergebnisse der Untersuchungen der Phase 2*

### 5.1 Vorbereitende Arbeiten

Im Kapitel 5.1 werden alle Arbeiten, welche als Vorbereitung der beiden Tiefbohrungen ausgeführt wurden, kurz zusammengefasst und bewertet.

#### 5.1.1 Planung des Untersuchungen

Das Vorgehen für die Phase 2 wurde gezielt auf eine Verbesserung der geologisch-hydrogeologischen Grundlagen ausgerichtet, um eine optimale Erschliessung des Untergrundes zu ermöglichen und das Risiko von Fehlbohrungen zu senken. Zunächst wurde die Dokumentenbasis soweit wie möglich erweitert. Zugleich wurde das lokale geologisch-hydrogeologische Wissen durch den Zuzug weiterer Spezialisten verbessert. Danach erfolgten weitere geologische und strukturgeologische Erhebungen, um das Kluftgeschehen als wesentliches Element der Tiefenzirkulation der Thermalwässer besser zu verstehen. Die 3D-Modellierung des Untergrundes sollte eine Verifizierung der Annahmen ermöglichen (siehe auch Vorgehen Kapitel 3.2).

Die Ausschreibungen der beiden Bohrungen wurden frühzeitig und sorgfältig vorbereitet. Eine der eingegangenen Offerten bot Kernbohrungen zu relativ günstigen Konditionen an. Diese Offerte war für die PG Geothermie Brig-Glis besonders interessant, weil sie über die Bohrkerne einen direkten Einblick in das Gestein ermöglichte und somit Aufschluss über die Mineralogie, die Fliesswege und geochemische und mineralogische Veränderungen des Gesteins durch die Thermalwasserzirkulation versprach. Parallel dazu wurde das Untersuchungsprogramm entwickelt, das in den Bohrungen zum Einsatz kommen sollte. Hierzu gehörten insbesondere die Messungen der physikalischen und chemischen Parameter der Tiefenwässer, die Klüftung und Schieferung im Gestein sowie die hydraulischen Charakteristiken der Bohrungen. Die PG Geothermie Brig-Glis untersuchte zugleich die verschiedenen Möglichkeiten zur Auskleidung der beiden Brunnen.

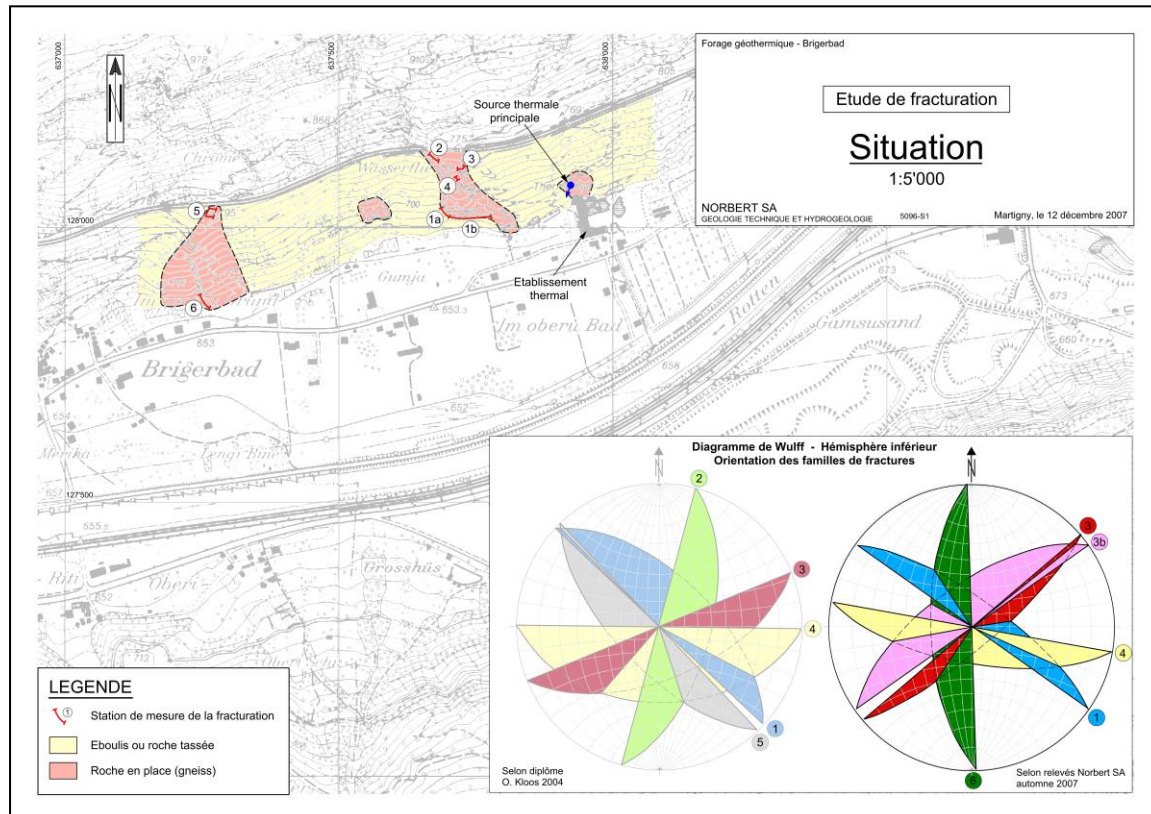
Schliesslich wurde die Überwachung der Bohrungen und der Tiefenwässer sichergestellt. Zum einen wurde das bereits in der Phase 1 gestartete chemische und radiochemische Monitoring der Tiefenwässer fortgesetzt. Zum anderen wurde die natürliche Fluoreszenz der Tiefenwässer in Zusammenhang mit der Erdbebenfrüherkennung durch die Ingenieurgeologie der ETH Zürich überwacht. Der Schweizerische Erdbebendienst SED installierte eine seismologische Messstation zur Beweissicherung etwaiger Einflüsse der Bohrung respektive des Pumpbetriebs in den beiden Brunnen.

#### 5.1.2 Strukturgeologische Erhebungen

Zur Optimierung bei der Platzierung und Ausrichtung der Bohrungen erfolgten folgende Vertiefungen bei den strukturgeologischen Untersuchungen:

- Auswertung der Ergebnisse aus der Literatur im weiteren regionalen Rahmen, vor allem strukturgeologische Daten aus dem Lötschberg-Tunnel und den Prospektions-Bohrungen für den Tunnel;
- Feldmessungen ISSKA im Rahmen der zweiten Etappe des vorliegenden Projektes und Korrelation mit den der Feldmessungen von Kloos (2004) und PG Geothermie Brig-Glis (2008) / Norbert et al. (2008, Annexe 6, siehe Figur 8).
- Die oben erwähnten Daten wurden von ISSKA für die geologischen und strukturgeologischen Modelle und Prognosen verwendet. Mit kleinen Abweichungen bestätigten die Felduntersuchungen die Ergebnisse der vorhergehenden Untersuchungsphasen. Es wurden eine Anzahl von Kluft- und Schieferungssysteme ausgedehnt:
- Schieferungssystem der Aar-Gneise: Azimut 140°-170°; Fallwinkel aus der horizontalen 45°-70° Klüftungen;
- Familie 1 (blau in den Darstellungen ISSKA 2009, teils etwas flacher in Norbert et al.(2008, annexe 6):

Azimut  $50^\circ$  ( $35^\circ$ - $50^\circ$ ); Fallwinkel aus der Horizontalen  $75^\circ$  ( $70^\circ$  -  $80^\circ$ ). Dieses Kluftnetz entspricht dem regionalen tiefgreifenden Kluftsystem, das im ganzen Aarmassiv und in Teilen des Helvetikums beobachtet werden kann (mündl. Mitteilung A. Pfiffner). Es ist in der Grotte des Thermalbads und den Quelfassungen TQBI und TQBII gut ausgebildet. Öffnungsweite: lokal bis 15 cm, verfolgbar im Gelände bis über 50 m  
Familie 2 von Kloos (hellgrün) : Azimut  $105^\circ$ ; Fallwinkel aus der Horizontalen  $60^\circ$ , wird in Norbert et al. (2008) nicht weiter verfolgt;



**Figur 8:** Die im Feld identifizierten Kluftfamilien in zwei Rosetten im Bericht von Norbert et al (2008): linke Rosette mit Daten aus Kloos (2004) , rechte Rosette nach Norbert et al. (2008). In rot: untersuchter anstehender Fels, in gelb: kartierte quartäre Bedeckung.

- Familie 3 (rot): Azimut  $140^\circ$ - $160^\circ$ ; Fallwinkel aus der Horizontalen  $60^\circ$ - $80^\circ$ , Öffnungsweite: lokal bis 5 cm, verfolgbar im Gelände bis über 10 m (ausgeprägte Familie)
- Familie 4 (gelb): Azimut  $180^\circ$ - $190^\circ$ ; Fallwinkel aus der Horizontalen  $45^\circ$ - $70^\circ$ , Öffnungsweite: lokal bis einige mm, verfolgbar im Gelände bis über 20 m
- Familie 5 von Kloos (grau) : Azimut  $230^\circ$ ; Fallwinkel aus der horizontalen  $60^\circ$ - $70^\circ$ , wird in Norbert et al. (2008) nicht weiter verfolgt
- Familie 6 (dunkelgrün) : Azimut  $270^\circ$ ; Fallwinkel aus der Horizontalen  $60^\circ$ - $70^\circ$ ; Öffnungsweite: lokal bis 2 cm, verfolgbar im Gelände bis über 20 m

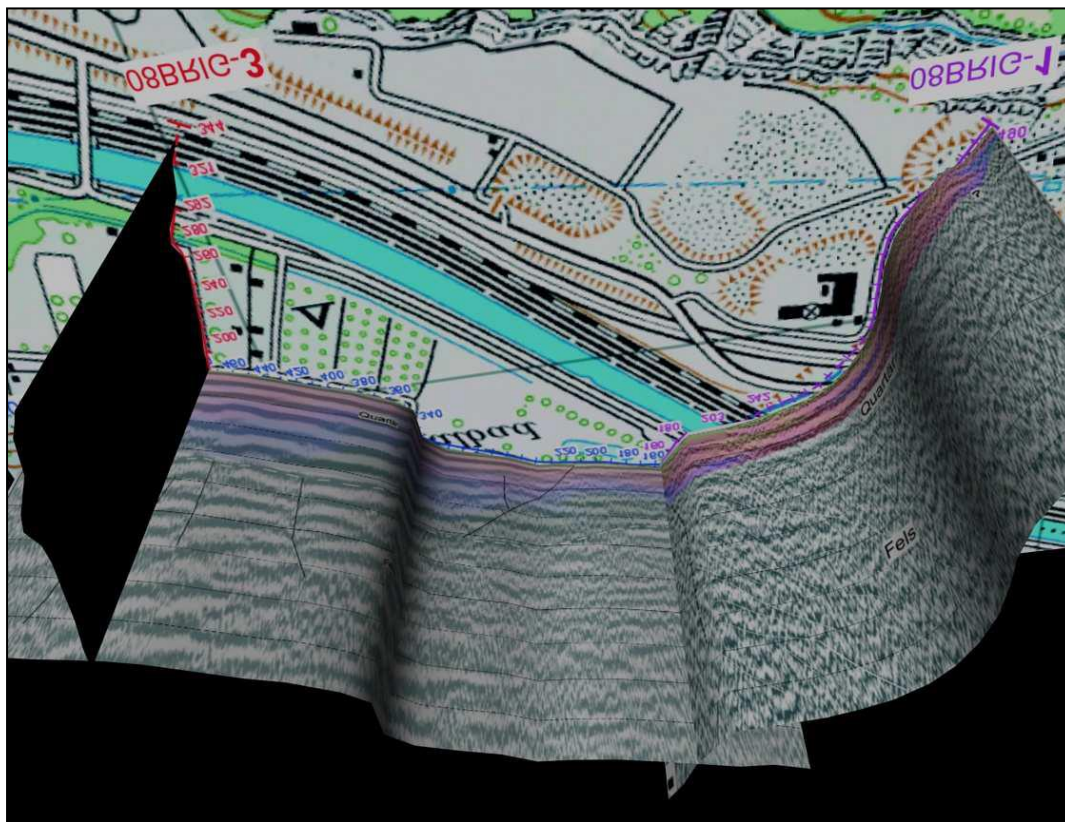
Diese Kluft- und Schieferungssysteme wurden in den Loggings (borehole-televue) der Erkundungsbohrungen BB1 und BB2 in der Etappe 1 (PG Geothermie Brig-Glis [2008]; Norbert et al. [2008, Annexe 6]) ebenfalls nachgewiesen (siehe Kapitel 5.1.5).

Die strukturellen Erkenntnisse wurden verwendet, um die Orientierung der Bohrung der Phase 2 festzulegen (siehe Figur 4). Die Bohrung 08-BR1 wurde wie folgt orientiert: Azimut  $323^\circ$ , Fallwinkel  $70^\circ$  (von der Horizontalen). Die Bohrung 10-BR2 wurde in Vertikalen abgeteuft.



### 5.1.3 Geophysikalische Erkundungen

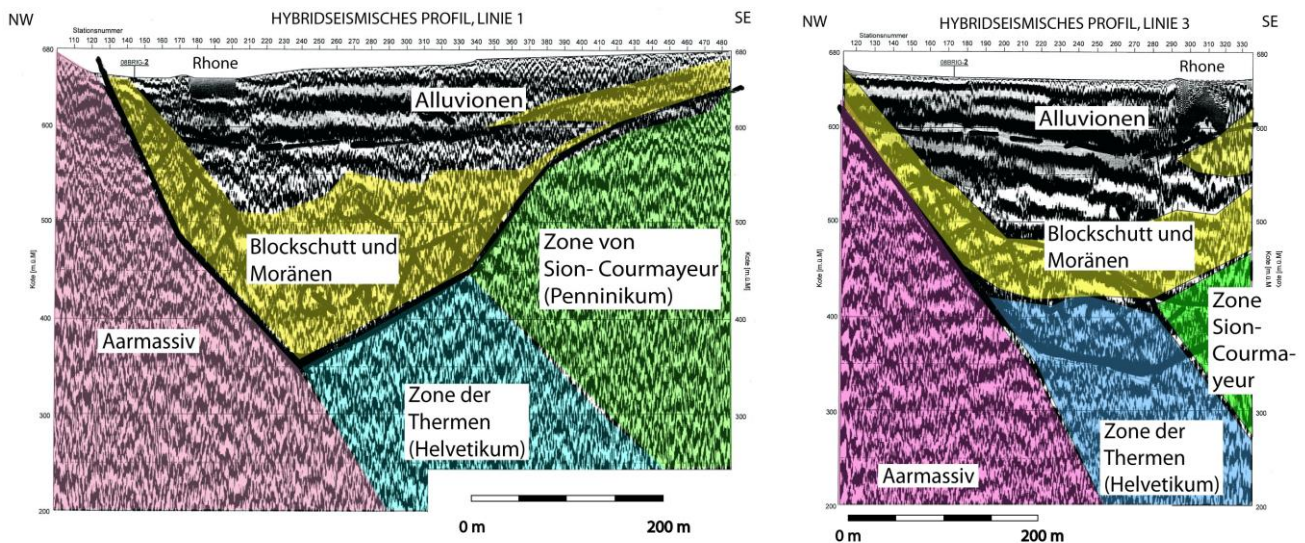
Im Hinblick darauf, weitere Daten über den Aufbau des Untergrundes zu erhalten, wurde eine kombinierte reflexions- und refraktionsseismische Untersuchung in Auftrag gegeben. Sie wurde durch die Firma Geoexperts AG, Amlikon-Bissegg TG, ausgeführt. Ziel der Untersuchung war, die Felsoberfläche des Aar-Kristallins und mögliche grosse Bruchstrukturen innerhalb desselben zu erfassen. Es wurden drei Seismikprofile mit einer Gesamtlänge von 2'180 m gemessen, ein Längsprofil entlang der Talachse und zwei Querprofile entlang der Zufahrt zum Thermalbad respektive 600 m talaufwärts bei der Mündung der Gamsa in den Rotten (Figur 9). Es wurde mit Fallgewicht - und wo nicht möglich - mit Sprengseismik gearbeitet. Die seismischen Aufnahmen sind durch die Autobahn, die Bahnlinie und den Rottenkanal beeinflusst und gestört.



**Figur 9:** Unteransicht der durch GeoExperts 2008 aufgezeichneten seismischen Profile. Rechts, S-förmig das Profil 1, in der Mitte unten Profil 2, und links in schwarz Profil 3. Der Lageplan ist auf eine horizontale Fläche auf 640 m projiziert, die Bildbreite misst ca. 1 km. Die seismischen Linien reichen etwa 450m in die Tiefe, eingefärbt in der Seismik sind nur die oberflächennahen Flusssedimente (aus ISSKA 2009). Die Rhone fliesst von E (rechts) nach W (links).

Die refraktionstomographisch hergeleiteten seismischen Ausbreitungsgeschwindigkeiten und die reflexionsseismischen Tiefenprofile wurden in einer kombinierten Auswertung zusammengefasst (Hybridseismik). Dabei werden seismische Geschwindigkeiten lithologischen Einheiten zugeordnet und Geschwindigkeitskontraste ermittelt. Die Auflösungstiefe der Aufzeichnungen liegt zwischen 300 und 500 m.

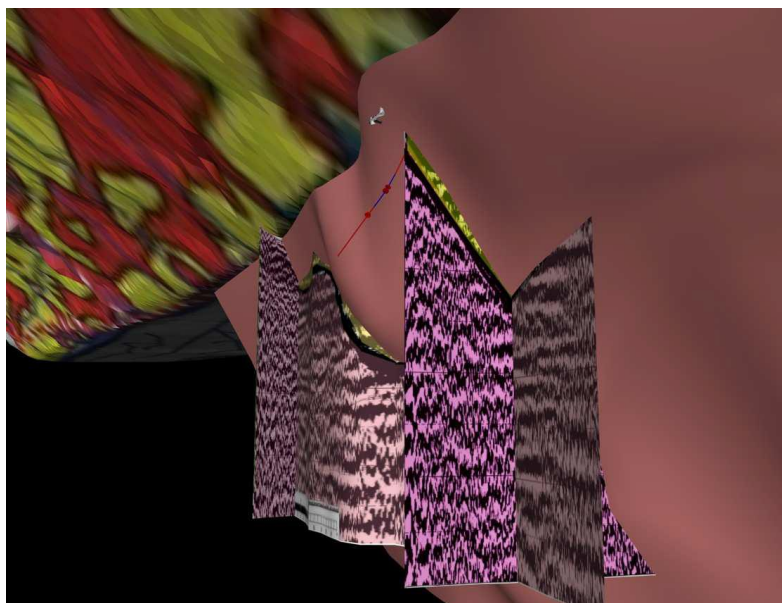
Im Ergebnis lieferten die Seismikuntersuchungen, insbesondere wegen den Impedanzkontrasten zwischen der Quartärbasis und dem Kristallin respektive dem Penninikum, wertvolle Hinweise zum Aufbau der quartären Talfüllung und zum Verlauf der Felsoberkante am nördlichen Talhang (Figur 10). Die geologische Interpretation legt nahe, dass der Fels im Westen des Untersuchungsgebiets tiefer liegt als im Osten. Klare Bruchstrukturen im Kristallin des Aare-Massifs lassen sich nicht ausscheiden.



**Figur 10:** Geologische Interpretation der seismischen Profile 1 (links) und 3 (rechts) nach ISSKA (2009): Gelb: quartäre Talfüllung. Hellrot: Aarkristallin. Grün und blau: vermuteter Verlauf der Sedimentdecken

### 5.1.4 Modellierung

Basierend auf den Digitalen Höhenmodellen von swisstopo mit Maschenweiten von 25 und 5 m, diversen geologischen Karten und Feldaufnahmen, Plänen und Installationen der betrachteten Anlagen (insb. Thermalbad) sowie den Ergebnissen der seismischen Untersuchungen und den Untersuchungen in Bohrlöchern, erstellte das SISKa ein digitales Modell des Untergrundes, welches als Visualisierungs-, Prognose- und Kontrollinstrument eingesetzt wurde. Die Profilsuren der 2 Testbohrungen und der beiden Brunnen wurden ebenfalls in dieses Modell eingetragen (Kapitel 5.1.6). In Figur 11 wird ein Blick auf die verschiedenen Informationen im 3D-Modell gezeigt.

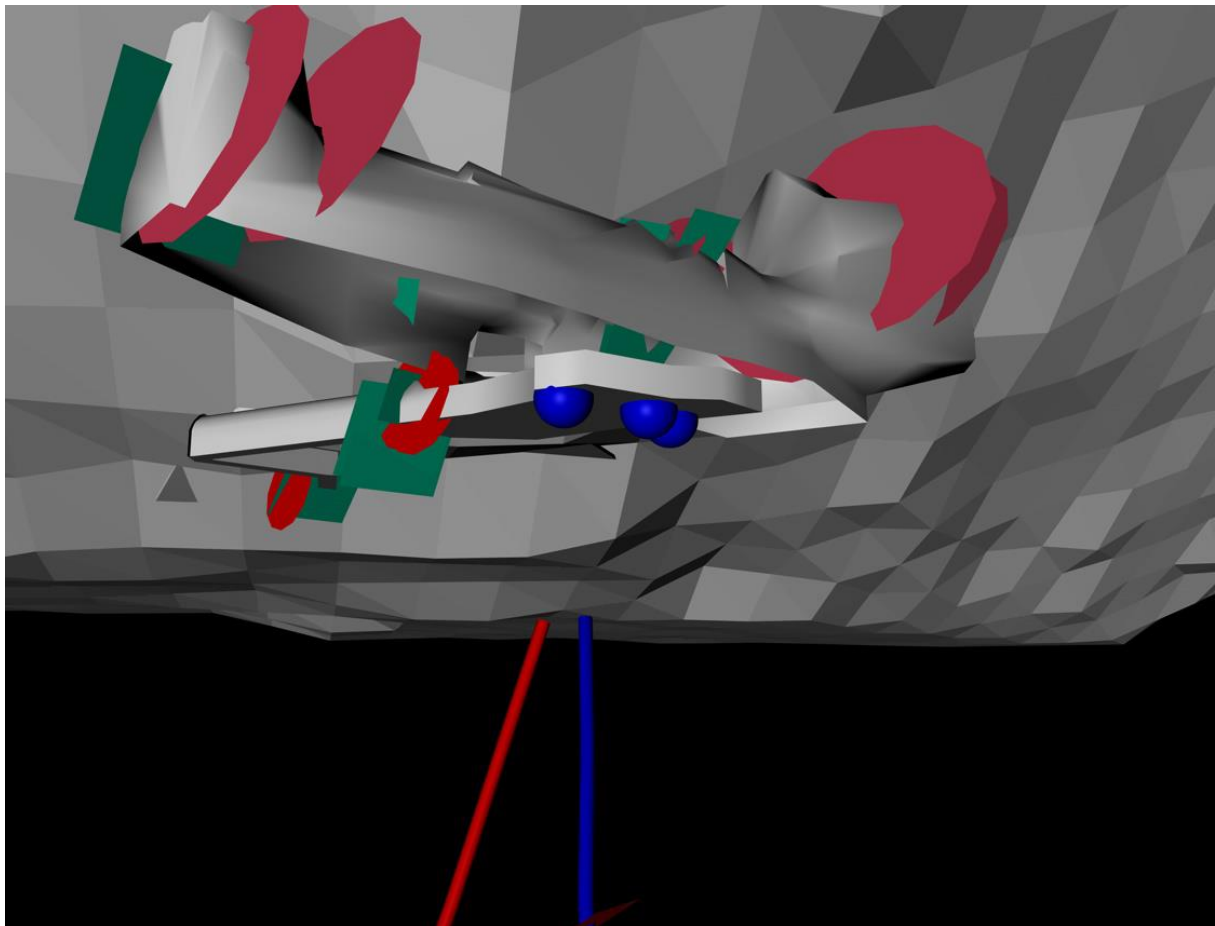


**Figur 11:** 3D geologische Interpretation der verschiedenen Untersuchungsbefunde von unten her gesehen, nach ISSKA (2009): Der Beobachter befindet sich unter der nördlichen Talflanke und blickt nach Osten. Die Seismischen Profile reichen gut 400m unter den Talboden. Die rote Fläche zeigt die Oberfläche des Aare-Kristallins, welches in Fortsetzung des Talhanges (gelb-rot gefleckt) steil gegen Süden eintaucht. In der Figur ist die Profilsur der Bohrung BB1 als roter Strich zu erkennen.



Zugleich wurden die lokalen Elemente - in erster Linie Bauwerke und strukturelle geologische Elemente - digital erfasst und als 3D-Darstellung visualisiert. Figur 12 zeigt die Unteransicht der Thermalfassungen.

Die Modellierung des Untergrundes aufgrund der Auswertung aller verfügbaren geologischen Grundlagen und Felddaten stellte ein zentrales Instrument für die Festlegung der Orientierung der Bohrungen dar (siehe Figur 4). In der Folge legten die Geologen der PG Geothermie Brig-Glis die Orientierungen der geplanten Tiefbohrungen fest.



**Figur 12:** Unteransicht aller relevanten Elemente im Bereich des Fassungsbauwerks: Schieferungsflächen im Aare-Geiss (grün), regionale Kluftsysteme (rot), Quellgruppe TQB1 (heisse Quellen als blaue Kugeln), Bohrungen Phase 1 BB1 (blau) und BB2 (rot). Der Beobachter blickt Richtung Süden unter den Talboden der Rhone. Die grauen Karos im Hintergrund stellen die Geländeoberfläche (DHM 25) dar. Die Kaverne im oberen Bildteil ist 30m lang, die Bildbreite misst ca. 50 m. (ISSKA 2009)

### 5.1.5 Integration der Bohrdaten aus Phase 1

Um einen besseren Einblick in den Aufbau und die Zirkulationsverhältnisse des Untergrundes zu gewinnen waren in der Phase 1 im Frühjahr 2008 zwei 164m und 175m tiefe und geneigte Sondierbohrungen (20° von der Vertikale) abgeteuft worden. Sie erschlossen die quartäre Talfüllung und den kristallinen Blockschutt und erreichten das Kristallin bei 21 respektive 35m Tiefe (Norbert et al. 2008). Das Bohrkleingut gab nur eine sehr beschränkte Auskunft über die Gesteinszusammensetzung in der Tiefe. Die Bohrungen wurden im oberen, teils unstabilen Teil verrohrt (BB1 bis 44m, BB2 bis 92 m). In BB2 brach das eingebrachte Vollrohr nachträglich bei ca. 20 m u.OKT (unter Oberkante Terrain).

In beiden Erkundungsbohrungen wurden danach Untersuchungen und Messungen durchgeführt.

- Die Bohrlochwände der beiden Bohrungen wurden mit einem Scanner abgetastet (Norbert et al. 2008, Annexes 2e und 3e) und bestätigten die an Bruchflächen im Terrain ermittelten Schieferungs- und Kluftflächen.
- Temperatur- und Leitfähigkeitsmessungen im Bohrloch sowie Mengenmessungen erlaubten es, deren Entwicklung in der Tiefe zu erfassen (Norbert et al. 2008, annexes 2c / 2d und 3c / 3d).
- Pumpversuche und eine breit angelegte Überwachung der hydro- und radiochemischen Inhaltsstoffen der Thermal- und Quellwässer der näheren Umgebung gaben Auskunft über die Absenkungen des Grundwassers, die Zuflussraten, die Beeinflussung der gefassten Thermalquellen und der Herkunft und Charakteristiken des Tiefengrundwassers (Norbert et al. 2008, Annexes 2h - 2l und 3h - 3n und 4).

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden nun für die Vorbereitung der Untersuchungs-Phase 2 verwendet.

### 5.1.6 Integration der hydrogeologischen Felddaten

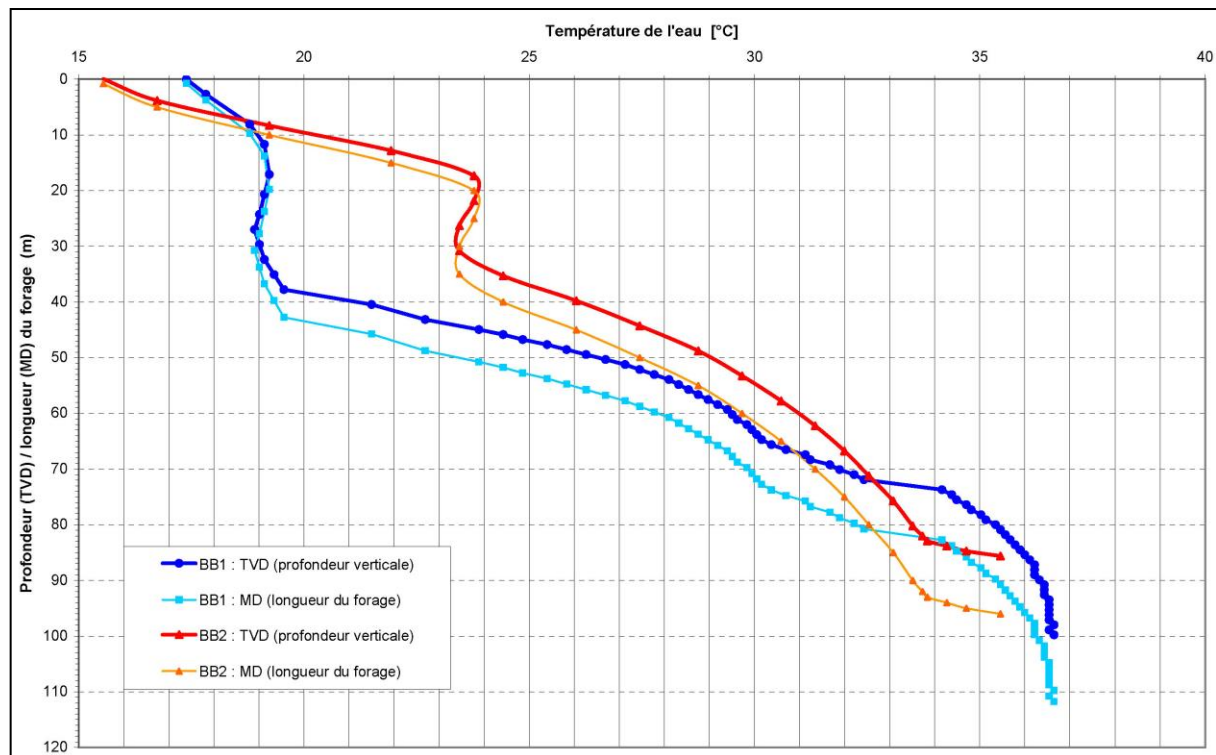
**Ältere Untersuchungen:** Erste umfassende Wasser- und Isotopen-Analysen der Thermalquellen und Interpretationen zu deren geothermischen Bedeutung waren im Zeitraum 1977-1978 seitens des Centre d'hydrogéologie der Universität Neuenburg CHYN erfolgt (Vuataz 1982). Diese Untersuchungen wurden im Rahmen einer geothermischen Evaluation der Ressourcen im Wallis aufgearbeitet und vertieft (CRSFA 1992, Agepp 2006). Im Jahr 2004 publizierte das CHYN eine neue umfassende Untersuchung der Thermalquellen im Brigerbad (Kloos 2004). Mit dem vorliegenden Projekt wurden weitere hydrogeologische und hydrochemische Untersuchungen eingeleitet.

Die Temperaturmessungen und die hydro- und radiochemischen Analysen der verschiedenen Wässer zeigten eindeutige Unterschiede zwischen den quartären Wässern der Talsohle des Rottens und den Zuflüssen aus grösseren Tiefen. Thermale Anomalien wie auch teilweise hohe Mineralisationen der Grundwässer in den Beobachtungsebenen im weiteren Umfeld des Brigerbads legten schon frühzeitig nahe, dass entlang der nördlichen Talflanke mengenmässig sehr wichtige und sehr warme Zuflüsse aus der Tiefe erfolgen mussten (Kloos 2004). Gestützt wurden diese Interpretationen durch erhöhte Gehalte von Parametern, die für Tiefenwässer typisch sind (z. B. Lithium [Li] oder Silizium [SiO<sub>2</sub>]).

Kloos (2004, S. 78ff.) erkannte auch die Bedeutung von Radioisotopen für die Interpretation der Herkunft von Wässern. Die Messdaten sind allerdings zu spärlich, um daraus eine Auftrennung der verschiedenen Tiefenwässer in eine thermale und eine subthermale Komponente belegen zu können.

**Ergebnisse der Kampagne 2008:** Die Auswertung der thermischen und hydrochemischen Daten aus den beiden Erkundungsbohrungen ermöglichten es in Phase 1, den Temperaturverlauf der Tiefenwässer mit zunehmender Tiefe zu erstellen (Figur 13).

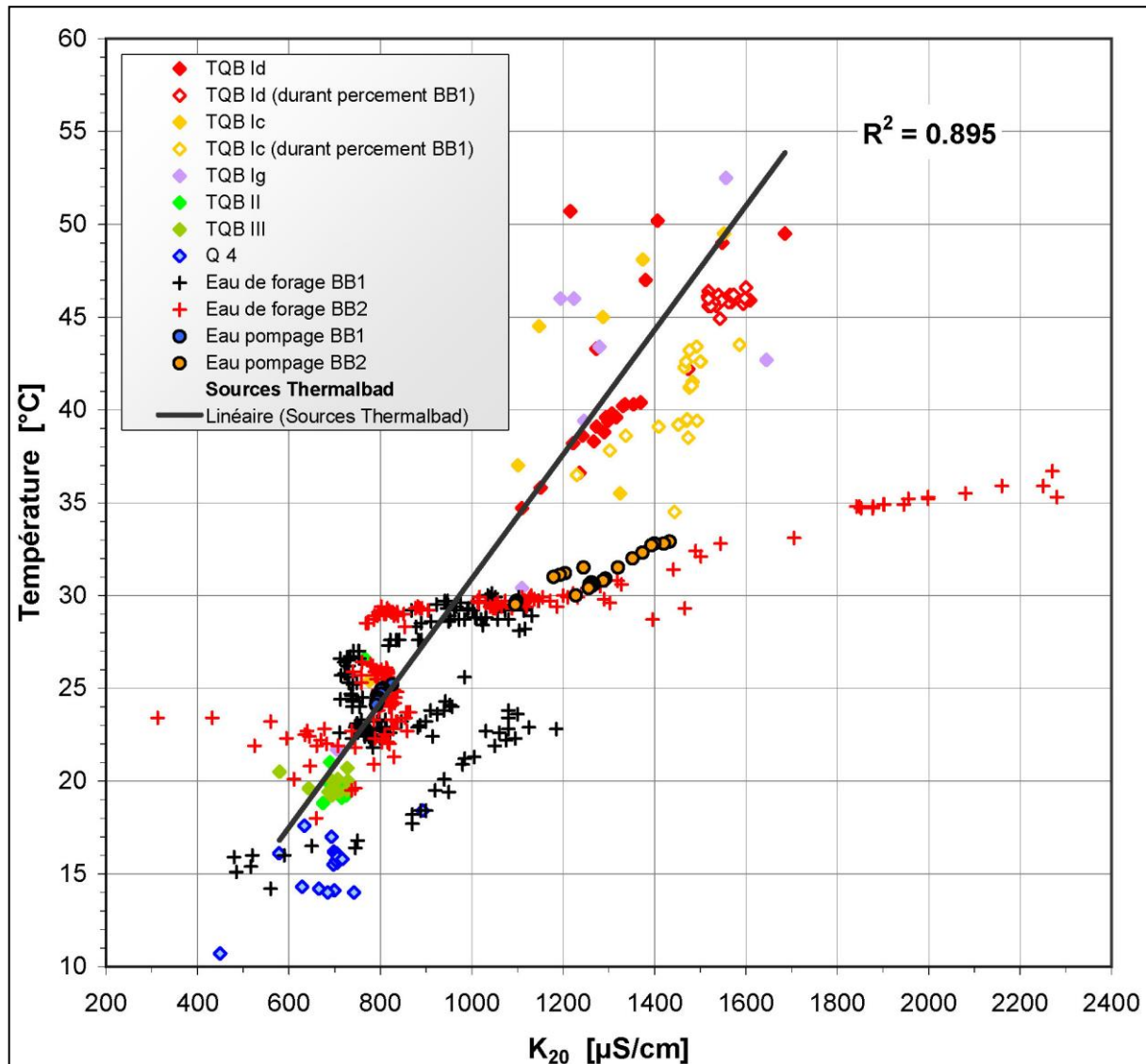
Grundsätzlich bestätigten alle bis dato erhobenen wasserchemischen Analysen das Aufstossen von heissen und stark mineralisierten Tiefenwässern entlang der nördlichen Talflanken und den natürlich aufstossenden oder gefassten Quellen in der Umgebung des Brigerbads. Nicht wirklich interpretieren liessen sich die unterschiedlichen hydrochemischen Analysen in Zusammenhang mit einem thermalen und subthermalen Zwei-Phasenfluss (siehe auch Figur 14). Die grossen regionalen Überschiebungen und Störungen sowie die ausgeprägte Klüftigkeit im Kristallin legten nahe, unterschiedlich leitende Mischsysteme von Tiefenwässern zu betrachten. Wir werden in Zusammenhang mit den Analysen in der zweiten Untersuchungsphase auf diese Kernfrage zurückkommen.



**Figur 13:** Temperaturprofile in den beiden geneigten Erkundungsbohrungen BB1 und BB2, Temperaturprofile in den geneigten Bohrungen (MD) und korrigierte Temperaturprofile im senkrechten Profil (TVD), aus Norbert et al. (2008, Annexe 3-h).

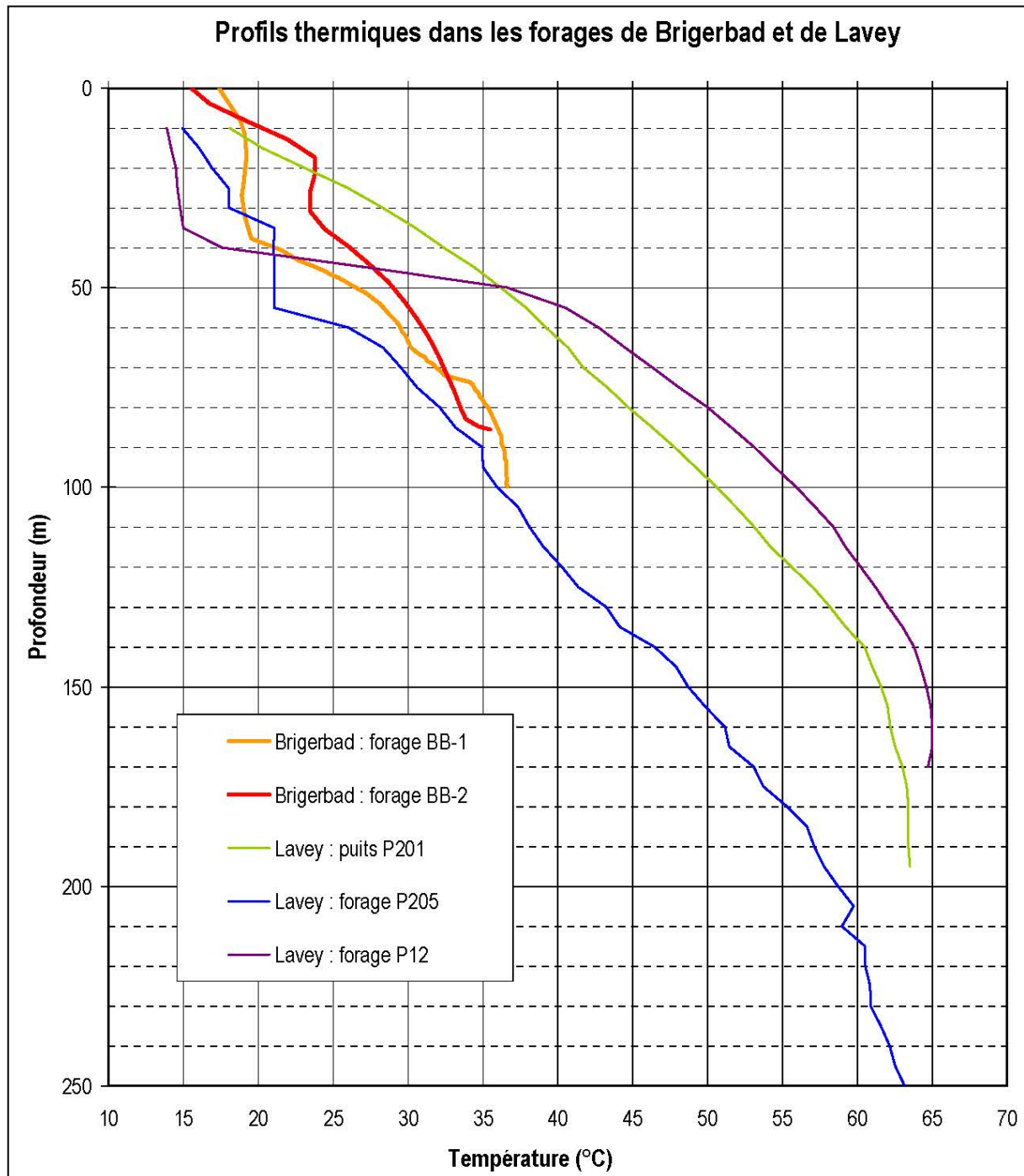
Die starke Klüftigkeit im Kristallin wurde durch die Pumpversuche in den Erkundungsbohrungen der Phase 1 wie auch durch die analytischen Befunde der diversen Tiefenwässer bestätigt. Die Mineralisation der Wässer nimmt wie die Temperatur mit der Tiefe generell zu (Figur 14). Die Unterschiede sind lokalen Phänomenen zuzuschreiben, sei es durch kältere Talgrundwasserzufüsse im oberen Bereich (bis 100 m Tiefe), sei es durch geochemische Unterschiede und unterschiedliche Reaktivitäten mit den durchflossenen Gesteinen in den tieferen Gesteinsbereichen. Wir werden die hydro- und radiochemische Beurteilung der Wässer bei der Diskussion der Ergebnisse der Bohrkampagne 2009/2010 führen.

Interessant war an diesen ersten Untersuchungen auch der Vergleich der Temperaturprofile der Wässer im Brigerbad mit jenen aus den Produktionsbohrungen in Lavey-les-Bains (Figur 15). Der Vergleich zeigte ermutigende Ergebnisse, liegen die Temperaturprofile der Erkundungsbohrungen im Brigerbad innerhalb der Bandbreite der Thermalwässer von Lavey les Bains.



**Figur 14:** Temperatur- und Leitfähigkeitsbeziehungen der verschiedenen Grund- und Thermalwässer im Nahfeld des Brigerbads, aus Norbert et al. (2008, Annexe 5-a). Die Wässer in der Bohrung BB2 sind deutlich mineralisierter als jene der anderen beprobten Wässer.

Die hydrogeologischen und hydro- und radiochemischen Erkenntnisse, welche in der Phase 1 gewonnen worden waren, wurden für die Vorbereitung der Untersuchungsphase 2 verwendet. Wichtig waren diese Ergebnisse in erster Linie für die Planung des Überwachungsprogramms der Thermalquellen sowie der Thermal- und Grundwässer wie auch für die weiteren Untersuchungen in den vorgesehenen neuen Bohrlöchern (Pumpversuche, Packerversuche usw.).



**Figur 15:** Temperaturprofile in den Erkundungsbohrungen BB1 und BB2 (rot und orange) und den Bohrungen in Lavey-les-Bains (P201, P205, P12). Aus Norbert et al. 2008 (annexe 5c)

### 5.1.7 Zwischenstand der Kenntnisse nach Abschluss der vorbereitenden Arbeiten

Nach Abschluss der vorbereitenden Arbeiten war der Kenntnisstand der PG wie folgt einzuschätzen:

- Gute oder zufriedenstellende Kenntnisse lagen zur regionalen Geologie, zur generellen Lage der Überschiebung der penninischen Decken auf das Kristallin und zu den struktureologischen Merkmalen des Kristallins vor. Durch die Feldmessungen und die Auswertung der Gutachten zum Lötschbergbasistunnel sowie der Fachliteratur konnte ein kohärentes Bild über die Ausrichtung grosser Störungszonen gewonnen werden, die für die Thermalwasserzirkulation von Bedeutung sind.
- Erste zufriedenstellende Ergebnisse konnten durch die Temperatur- und Leitfähigkeitsmessungen in den Erkundungsbohrungen der Phase 1 gewonnen werden. Sie zeigten eine ähnliche Temperaturzunahmen in der Tiefe und ähnliche Tendenzen wie die Produktionsbohrungen in Lavey-les-Bains. Die Pumpversuche in diesen Bohrungen bestätigten die thermische Schichtung der Wässer und die generell hohe Durchlässigkeit des kristallinen Felses. Zudem bestätigte sich die Vermutung, dass der Aufstieg der Thermalwässer an präferenzielle Fließsysteme gebunden war.
- Unklar blieb, trotz der Auswertung vieler Daten, die Situation bezüglich der Hydro- und Radiochemie der Tiefenwässer sowie den wichtigen Zuflusspfaden. Zirkulierte das tiefe Thermalwasser vor allem nahe der grossen Hauptüberschiebung? Welche Rolle spielten die grossen N-S verlaufenden Bruchzonen jüngerer Alters? Die Auswertung der hydro- und radiochemischen Inhaltsstoffe der Tiefenwässer brachte keine wesentlich neuen Erkenntnisse. Die Frage blieb ungeklärt, ob zwei thermale Komponenten im Untergrund vorlagen (sogenannte thermale und subthermale Komponenten).
- Klar bejaht werden konnten am Ende der Vorarbeiten zu Phase 2 die Folgerungen bezüglich der weiteren Prospektion des Untergrundes. Die Geothermie Brigerbad AG, eine zu diesem Zweck gegründete Tochtergesellschaft der Thermalbad AG, stimmte im Herbst 2008 dem Programm der Planergemeinschaft zu und erteilte danach den Auftrag zu der Untersuchungsphase 2.

## 5.2 Wichtigste Ergebnisse der Felduntersuchungen

Im Vorfeld der Bohrarbeiten mussten die PG Geothermie Brig-Glis zwei Fragen klären:

- Einerseits mussten die Bohrstandorte auf dem Gelände des Thermalbad AG bestimmt werden. Sie wurden unter Berücksichtigung der möglichen Ausbaupläne des Thermalbads und den geologischen Rahmenbedingungen ca. 50 m westlich der Erkundungsbohrungen angeordnet.
- Andererseits musste die Ausrichtung der beiden Tiefbohrungen und die Reihenfolge der Bohrungen festgelegt werden. Nach verschiedenen Sitzungen zwischen Projektverantwortlichen, den Geologen innerhalb der PG Geothermie und weiterer zugezogener Spezialisten entschied man sich, zunächst eine geneigte Bohrung (Azimut 323°/ Fallwinkel 70°) auszuführen und mit dem Entscheid über die Ausrichtung der zweiten Bohrung zuzuwarten.

Im Anschluss an die ersten Ergebnisse dieser ersten Tiefbohrung beschlossen die PG Geothermie und ihre Geologen, die zweite Tiefbohrung als Vertikalbohrung auszuführen.

### 5.2.1 Bohrungen

Die Bohrungen erfolgten zwischen April 2009 respektive November 2009 und April 2010 (Norbert 2010), also während dem ruhendem Betrieb des Thermalbads.

Die Schräg-Bohrung 08-BR1 (Azimut 323°/ Fallwinkel 70° [20° von der Vertikalen]) erreichte eine Tiefe von – 282 m ab Oberkante Terrain (OKT).

Die Vertikal-Bohrung 10-BR2 wurde bei knapp - 500 m eingestellt.



Der Vortrieb wurde bei beiden Bohrungen zunächst mit Schlaghammer bis ca. max. 110 m Tiefe ausgeführt. Aus den geförderten Cuttings ergibt sich der Kontakt Quartär / Kristallin bei -28 m OKT (08-BR1) respektive -40 m unter OKT (10-BR2), siehe dazu Norbert (2010, Tabellen 1 und 4).

Im Kristallin des Aare-Massivs wurde (ab ca. 100 m) im Seilkernbohrverfahren gefahren.

## **5.2.2 Generelle geologische Befunde**

Die beiden Bohrungen erhärteten das bisher vertretene geologische Bild des Untergrundes (Figur 17). In den oberen Dekametern liegen die gut durchlässigen quartären fluviatilen Sedimente (Sand- und Schotterlagen und zwischengelagerte Silte), welche den teilweise abgelagerten Blockschutt entlang des Hangs überlagern. Unmittelbar danach folgen die kristallinen Gesteine des Aarmassivs. Die Grenzen zwischen kristallinem Blockschutt und kristallinem Fels sind nicht eindeutig feststellbar, weil die Bohrungen bis gegen 110 m Tiefe im Bohrmeisselverfahren ausgeführt wurden und sich Strukturmerkmale nicht aus dem ausgesiebten Bohrkleingut gewinnen lassen. Bei der gegen NNW gerichteten Bohrung 08-BR1 wird die Felsoberfläche in 27 m Tiefe vermutet, bei der vertikalen Bohrung 10-BR2 in ca. 40 m Tiefe.

In beiden Bohrungen weist das obere, vermutlich aus Blockschutt bestehende Kristallin stark oxidierte Zonen auf, mit entsprechend starken Wasserzuflüssen. In der Bohrung 08-BR1 wurde der Zufluss durch die Bohrmannschaft auf über 55 l/s geschätzt und erreichte bei 40 m bereits Temperaturen von 26°C. Eine ähnliche Situation wird auch bei der Bohrung 10-BR2 angetroffen.

Nach Erreichen des kristallinen Felses ist der Wasserzufluss vor allem an einzelne grössere Stör- oder Schieferungszonen gebunden. In 10-BR2 wurde zwischen 85 und 105m Tiefe drei grosse Zuflüsse registriert, mit Zuflussraten von 40 l/s bis weit über 140 l/s. Solch starke Zuflüsse führten zum Unterbruch der Bohrarbeiten und erforderten das Abdichten dieser Zonen durch Zementinjektionen..

Schon während den Bohrungen fielen die starken Wasserzuflüsse in bestimmten Tiefen auf, die sehr grosse Mengen an Talgrundwasser oder Thermalwasser führten, insbesondere in den ersten hundert Metern. Die Durchquerung dieser Zonen stellten teils grosse Herausforderungen für die Bohrmannschaft dar und führten zu entsprechenden Zeitverzögerungen.

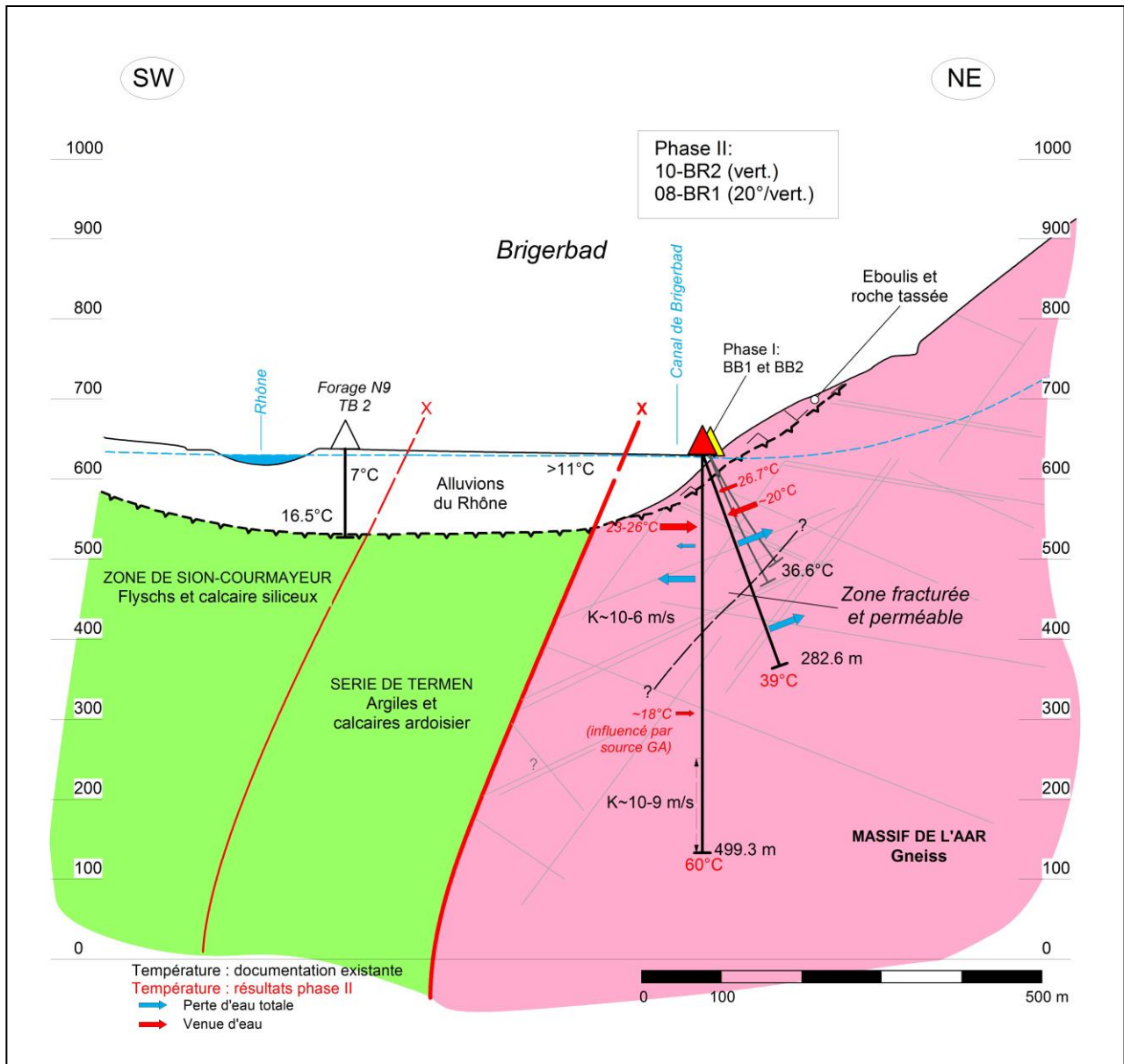
Ab ca. 110 m Tiefe wurde auf das Seilkernbohrverfahren umgestellt. Die gezogenen Bohrkerns erlaubten nun die Einsicht in die Tiefe. Der Fels bleibt weiterhin geklüftet, doch nimmt diese in der Tiefe zunehmend ab. In diesen Abschnitten wurde häufig ein vollkommener Wasserverlust bei den Bohrarbeiten festgestellt.

Ab ca. 175 m (08-BR1) respektive 230 m Tiefe (10-BR2) wird der Fels massiver. Die offenen Klüfte liegen nun häufig Parallel zu den Klüften. Die Zuflüsse werden seltener und kleiner. Die Temperaturen steigen an und erreichen in 08-BR1 bei - 280 m Tiefe 38°C, in 10-BR2 bei 500 m Tiefe 60°C (Fig. 17).



**Figur 16:** Bohrgerät der Firma Anger's Söhne, Hessisch Lichtenau





**Figur 17:** Schematisches geologisches Profil nach Ausführung der Untersuchungen der Phase 2 (nach Norbert 2010)

### 5.2.3 Kurz-Beschrieb der angetroffenen Lithologien und Mineralogie des Kristallins (Norbert 2010/2011, Annexe B2)

Das in beiden Bohrungen 08-BR1 und 10-BR2 angetroffene Kristallin besteht im Wesentlichen aus einer Wechsellagerung von feinkörnigen Gneisen und Augengneisen. Gelegentlich treten auch grau-grüne feine Gneise auf, teils sind auch schiefrige Gneislagen mit hohem Muskovitgehalt, Glimmerschiefer oder Feldspath-, Chlorit- und Quarzbänder darin eingeschaltet. Dennoch erscheint die gesamte Gesteinsserie dieser Wechsellagerungen relativ monoton. Oft enthalten die Gneise Pyritkörner, teils auch andere Minerale. Hin und wieder können Aplitgänge beobachtet werden.

Die Bohrkerne zeigen eine verhältnismässig starke Zerschierung, häufig sind die Trennflächen stark beansprucht. Oftmals sind diese Trennflächen offen und durch hydrothermale Lösungsvorgänge zersetzt. Häufig wird das Gestein in diesen Bereichen porös. Die Zerschierung führte stellenweise zur Bildung von Myloniten (duktile, plastische Verformung) aber auch zu Kataklasiten (spröde Verformung).

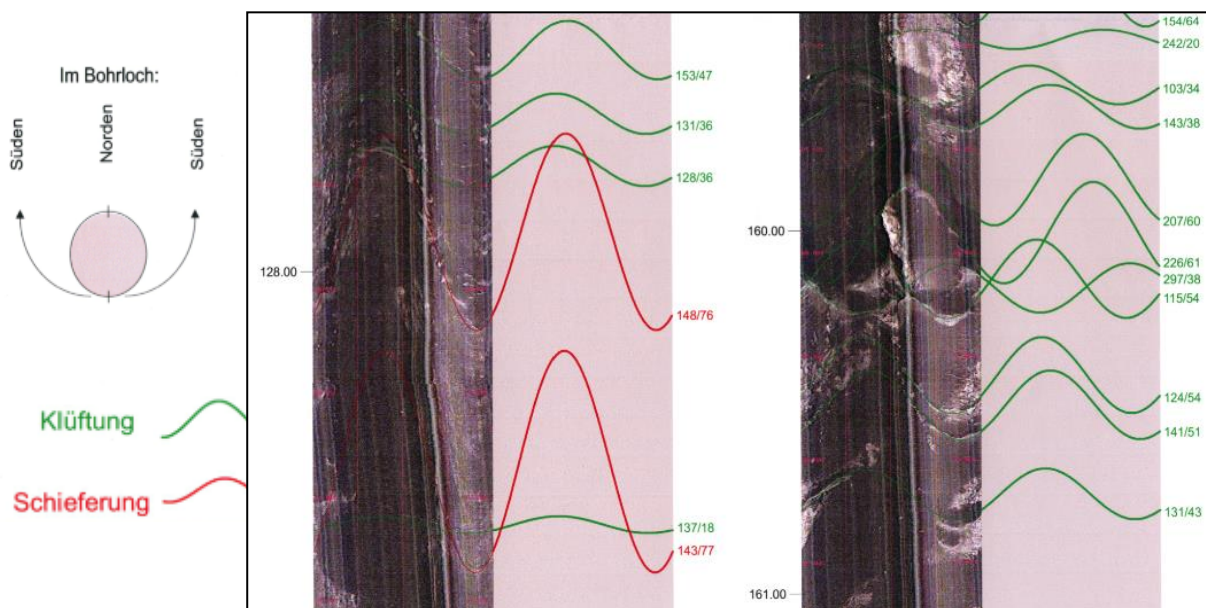
Auf den Trennflächen kommen verschiedene Minerale vor. In 10-BR2 etwa wurden auf einer grösseren Kluftfläche faserige Aktinolithe (Asbestmineral) nachgewiesen (Figur 18). In beiden Bohrungen konnten zudem auf verschiedenen Trennflächen Gipsminerale festgestellt werden. Diese Beobachtungen sind von grossem Wert, was die Thermalwasserzirkulation im Kristallin angeht. Die Gipsminerale stammen nicht aus dem kristallinen Reservoir. Die Herkunft dieser Gipsminerale wird in der triadischen Termenzone vermutet (siehe auch Figur 17). Diese Hypothese bleibt zu überprüfen.



**Figur 18:** Aufnahmen eines Bohrkern (Gneise Kristallin Aare-Massiv) aus 08-BR1 (links), faseriger Aktinolith aus einer Kluftfläche aus 10-BR2 (nach Norbert 2010)

## 5.2.4 Strukturgeologische Befunde

Die strukturgeologischen Befunde beruhen auf den Auswertungen der Bohrlochscanneraufnahmen (Figur 19) und den darauf beruhenden Strukturauswertungen (Norbert 2010, annexes B-6 et C-6). Die Schieferung zeigt in beiden Bohrungen ein ähnliches Muster, mit Fallrichtungen in der Grössenordnung  $60^{\circ}/155^{\circ}$  (Fallwinkel/Azimut). In der Bohrung 10-BR2 liegt der Mittelwert des Fallwinkels unterhalb von 220 m Tiefe bei  $50^{\circ}/152^{\circ}$ . Dies entspricht sehr genau den Messergebnissen, die an der Oberfläche gewonnen wurden ( $45^{\circ}-70^{\circ}/140^{\circ}-170^{\circ}$ ).



**Figur 19:** Ausschnitt aus den Bohrlochscanner-Aufnahmen der Bohrung 10-BR2 vom 20. April 2010 in Tiefen von 128 bzw. 160 m, Verlauf der Klüftung (grün) und der Schieferflächen (rot), nach Kellerhals & Haefeli (2010b)

Bei den Klüftflächen ergibt sich folgendes Bild: In der Bohrung 08-BR1 dominieren in den drei betrachteten Tiefenabschnitten die Klüftfamilie mit Azimut um  $150^{\circ}$  und Fallwinkeln um  $40^{\circ}$ , in der Bohrung 10-BR2 sind die Fallwinkel etwas grösser ( $>50^{\circ}$ ). Einzelne Klüfte in 08-BR1 haben bei Azimut um  $140^{\circ}$  Fallwinkel bis gegen  $80^{\circ}$ . Es handelt sich also bei den meisten vorkommenden Klüften klar um die bereits identifizierten, Thermalwasser führenden Klüfte der Familien 3 (rot und violett). Alle anderen Klüftfamilien treten, wenn überhaupt, in untergeordneter Häufigkeit auf. Die Messgenauigkeit der Klüftmessungen wird auch durch die Ablenkung der Bohrung beeinflusst (siehe Kapitel 5.2.5).

Die Erkenntnisse über die Schieferung und die dominierenden Klüftfamilien sind für eine weitere Erschliessung von tiefen Thermalwässern im näheren wie im weiteren Umfeld des Brigerbads von Bedeutung. Die Orientierung von künftigen Bohrungen kann optimal auf die dominierenden (offenen) Schieferungs- und Klüftflächen ausgerichtet werden.

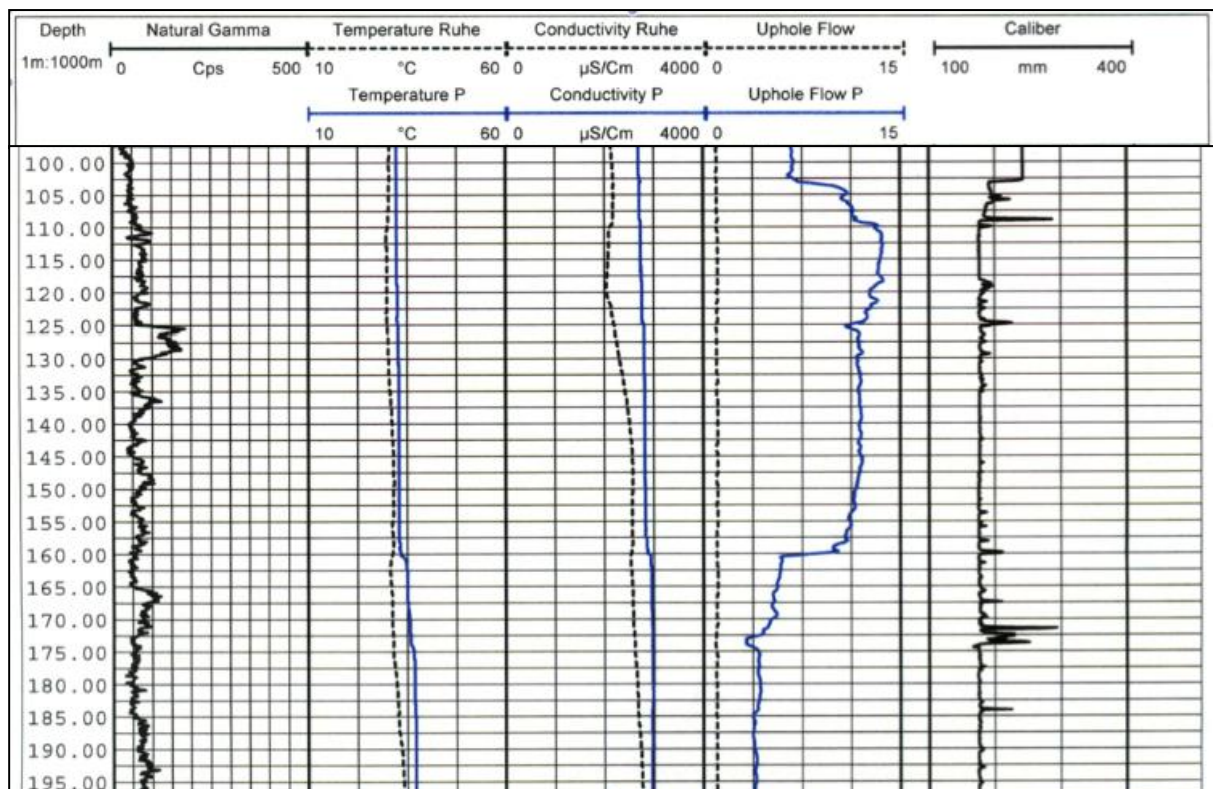
Unklar bleibt hingegen die Frage nach der Hauptzirkulationswegen des Thermalwassers. Aus tektonischen Überlegungen wäre naheliegend, dass der tiefe Thermalwasseraufstoss näher an der Hauptüberschiebung der helvetisch-penninischen Decken auf das Aare-Massiv zu liegen kommt. Einen Hinweis darauf, dass dies tatsächlich so ist, liefert das Temperaturprofil der Bohrungen, mit signifikant höheren Temperaturen in der näher dem tektonischen Kontakt liegenden Vertikalbohrung 10-BR2.



## 5.2.5 Untersuchungen im Bohrloch und Befunde

Bereits in der ersten Phase erfolgten verschiedene Untersuchungen in den Bohrlöchern der Erkundungsbohrungen, um die nutzbaren Thermalwassermengen abzuschätzen und die Durchlässigkeitsverhältnisse besser einschätzen zu können. Auch in der zweiten Etappe wurden solche Untersuchungen mithilfe von Sonden in den tiefen Bohrungen ausgeführt. Parallel zu diesen Untersuchungen wurden Grund- und Thermalwässer sowie Quellen der näheren Umgebung des Brigerbads chemisch und radiochemisch überwacht (siehe Kapitel 5.2.6). Die wichtigsten Untersuchungsergebnisse in den Bohrungen 08-BR1 und 10-BR2 lassen sich wie folgt zusammenfassen (siehe Norbert 2010, annexes B und C, Figur 20):

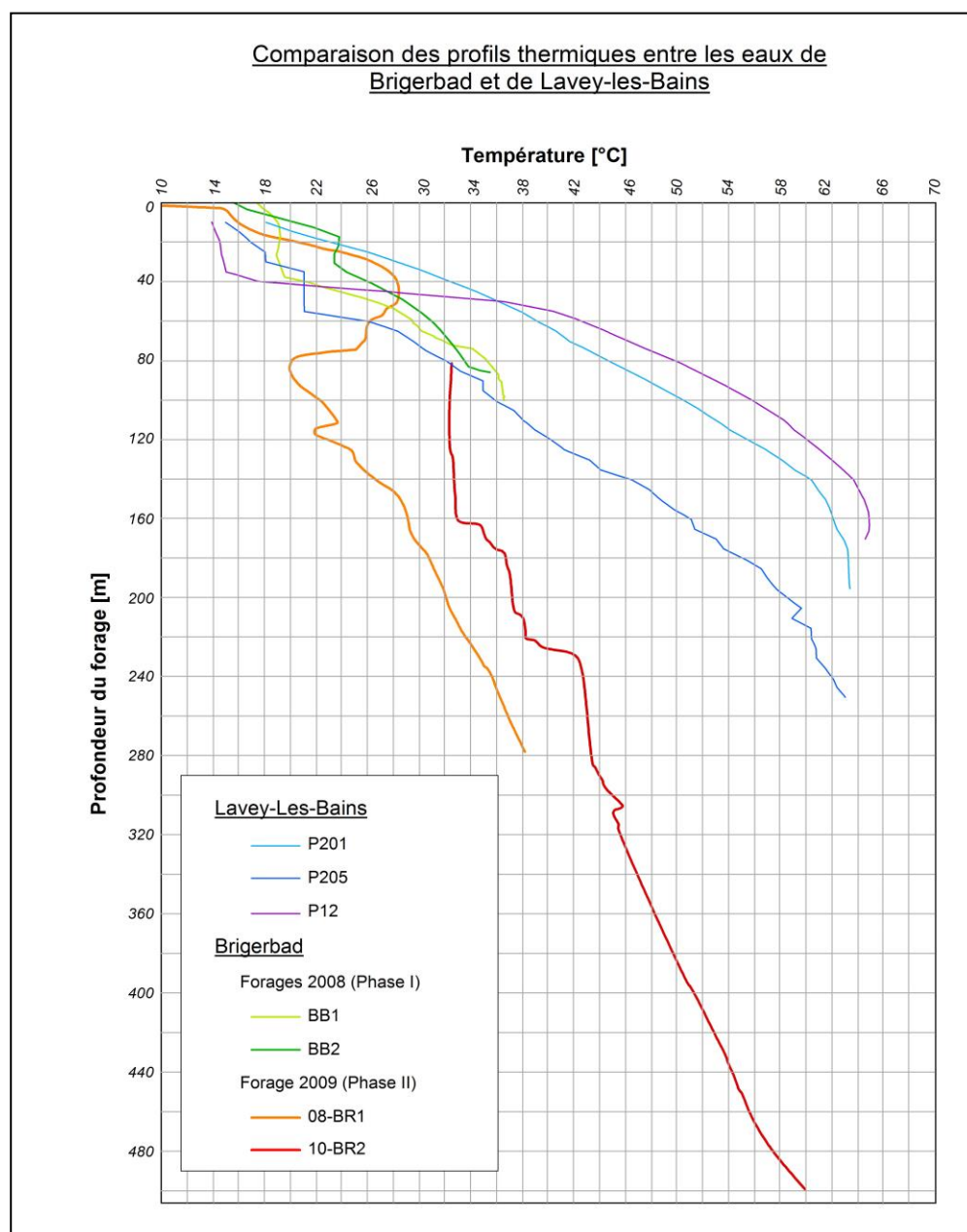
**Temperatur- und Leitfähigkeitslogs:** Wärmemessungen geben Auskunft über die Temperatur des Wassers und auf indirekte Weise über die Umgebungstemperatur im Fels. Leitfähigkeitsmessungen erlauben Rückschlüsse auf die im Wasser gelösten Ionen und häufig auch auf die Herkunft von Tiefenwässern (siehe Figur 20). Die Messungen in den beiden Bohrungen (Messpunkte alle 5 m) zeigen einen mehr oder weniger kontinuierlichen Anstieg der Temperatur (bis über 60°C im Ruhewasser in Bohrung BR10-02) sowie der Leitfähigkeit an (Figur 21).



**Figur 20:** Ausschnitt der Logs vom 19. April 2010 im Bohrloch BR08-02 zwischen 100 und 195 m Tiefe (Natürliche Gamma-Strahlung, Temperatur Ruhezustand, Leitfähigkeit Ruhezustand, Zufluss, Bohrlochgeometrie [Caliper], cf. Terratec (2010) / Norbert (2010, annexes B, C)

Die Temperatur-Logs zeigen markante Inflexionspunkte, ganz besonders für den Temperaturverlauf der Wässer in 08-BR1. Nachdem die Wassertemperatur bei 40m Tiefe die 20°C-Grenze überschritt, fiel sie bei über 80 m wieder auf rund 20°C zurück um dann kontinuierlich entlang einer Geraden anzusteigen, die dann bei ca. 150 m Tiefe einen weiteren, wenig ausgeprägten Knickpunkt aufweist. Die lineare Funktion im Abschnitt 155-280 m in 08-BR1 ist:  $T = 0.075d + 18$ . Für den Abschnitt darüber (80-155 m) gilt  $T = 0.12d + 10$ . Dabei ist d die Tiefe unter der Bohrstelle in Metern und T die Temperatur in °C.

Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass auch die Temperaturkurve in 10-BR2 einen ähnlichen Verlauf hat, und im Abschnitt 320-480 m quasi dieselbe Steigung hat, mit  $T = 0.07d+22$ . Im Gegensatz zu den oberflächennahen ersten 100 m, die sich in den in Lavey-les-Bains festgestellten Trend einreihen, sind die Temperaturprofile in den beiden tieferen Bohrungen im Brigerbad deutlich kühler. Vergleichsweise liefert die Bohrung P205 in Lavey-les-Bains zwischen 60 m und 200 m einen hohen Temperaturgradienten von 0.23;  $T = 0.23d+12$ . Eine Erklärung für den Unterschied zwischen Lavey-les-Bains und Brig könnte die schlechtere Durchlässigkeit im Briger Aar-Massif sein, vereinfacht gesagt schlechtere Transportbedingungen der Thermalwässer infolge weniger offener und/oder verbundener Kluftsysteme.



**Figur 21:** Temperaturverlauf in den Erkundungsbohrungen BB1, BB2, 08-BR1 und 10-BR2 (alle Brigerbad) und P12, P201 und P205 (Lavey-les-Bains) gemäss Norbert (2010). Man beachte die Inflexionen (08-BR1) respektive den Knick (10-BR2) gegenüber dem bisher bekannten Temperaturverlauf aus Bohrungen und Brunnen in Lavey-les-Bains und untiefen Bohrungen in Brig.



**Natural-Gamma-Logs:** Diese in der Prospektion des Untergrundes häufig eingesetzte Methode ermöglicht es, die natürliche Emission von radioaktiven Gammastrahlern im Gestein zu messen und die "stärker" von den weniger "stark" strahlenden Gesteinen zu unterscheiden. Diese Unterschiede in der natürlichen Gamma-Strahlung erlauben insbesondere Tone von anderen, nicht Tonhaltigen Sedimenten zu unterscheiden. Zudem können Gänge und Klüfte mit radioaktiv angereicherten Mineralien erfasst werden. Der Log in Figur 20 zeigt einige kleinere Peaks, insbesondere in der Tiefe von 125 bis 130 m.

**RQD-Index (Rock Quality Designation):** Der RQD-Index gibt Auskunft über die Kernaussbeute von Bohrkernstücke über 10cm Länge bezogen auf die Gesamtlänge des Bohrkerns und damit indirekt auf die Festigkeit des Gesteins.

**Bohrlochvermessung:** Die Bohrlochvermessung gibt Auskunft über den Verlauf einer Bohrung und die Abweichung von der festgelegten Richtung, mit der zu rechnen ist wegen Festigkeitsunterschieden im Gestein oder wegen des Abgleitens des Bohrkopfs bei subvertikalen Strukturen. Sie wird mit dem Bohrlochscanner und einem Orientierungsmodul gemessen. Auf diese Weise lassen sich Neigung und Azimut (Richtung vom Norden) und damit die Ablenkung der Bohrung bestimmen. Im Gegensatz zu der landüblichen Vorstellung von fadengraden Bohrungen zeigt die Realität, dass Bohrungen sich z.T. mit erheblichen Abweichungen in den Untergrund vortasten.

Wie schon die Erkundungsbohrungen BB1 und BB2, wurden auch die Bohrungen 08-BR1 und 10-BR2 relativ stark abgelenkt. Bei der Bohrung 08-BR1 betrug diese Ablenkung (für die gekernte Strecke von 280 m) 60 m Richtung Westen und 120 m Richtung Norden (Kellerhals&Haefeli 2010a), bei Bohrung 10-BR2 (für die gekernte Strecke von 408 m) 20 m Richtung Westen und 50 m Richtung Norden (Kellerhals&Haefeli 2010b). Figur 22 zeigt eine Aufsicht des Verlaufs der vier im Brigerbad abgeteufte Bohrungen (well track). Sie zeigt, dass auch sogenannte Vertikalbohrungen erheblich von der Senkrechten abweichen und sich "wurmartig" in der Tiefe fortsetzen.

**Caliper:** Caliper-Messungen werden ausgeführt, um die Geometrie des Bohrlochs zu erfassen. Ausbruchstellen geben hierbei wertvolle Auskünfte über Schwächezonen im Gestein (Scher- und Kluftzonen, Mylonite und Kataklastite usw.), die mehrheitlich mit offenen Kluftflächen und damit mit Wasserzuflüssen oder -verlusten in Verbindung stehen.

Bohrlochscanneraufnahmen und Calipermessungen wurden ausgewertet und eine Liste der grösseren offenen Klüfte und Störungszonen für beide Bohrungen zusammengestellt (Kellerhals und Haefeli 2010a, 2010b, jeweils Anhang 3). Wie Figur 20 schön aufzeigt, korrelieren die grössten Unterschiede in der Bohrlochgeometrie mit jener der Wasserzuflussmengen.

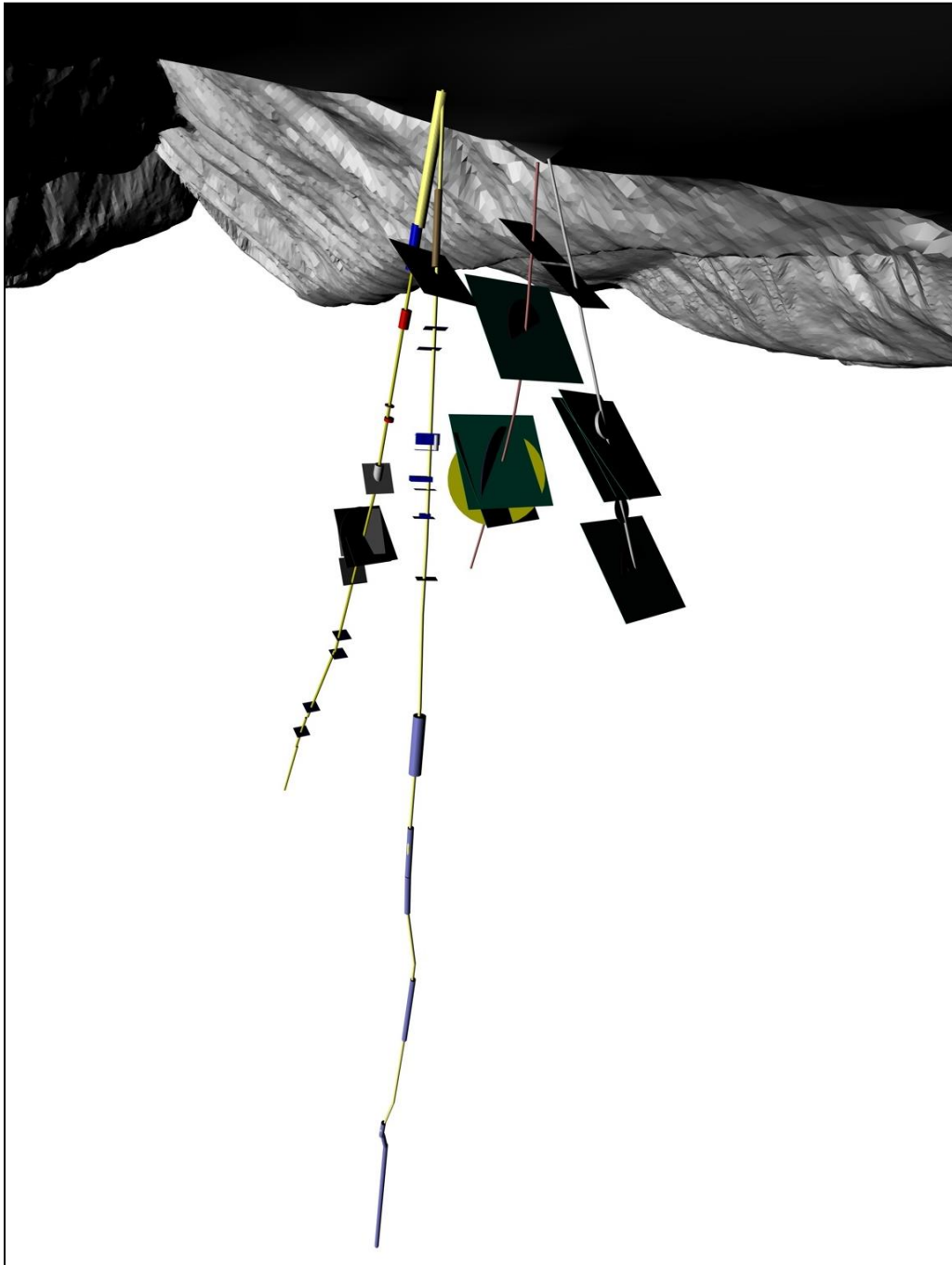
**Flowmeter:** Flowmeter-Untersuchungen haben das Ziel, Zuflüsse im Bohrloch festzustellen und eine erste quantitative Grössenordnung derselben über eine Durchflussmessung in einem Rohr zu geben. Figur 20 verdeutlicht die starken Zuflüsse in Tiefen zwischen 100 und 160 m, bei einer stärker variierenden Bohrlochgeometrie und bei deutlich steigender Leitfähigkeit in diesem Tiefenbereich.

Am 26. und 27. April 2010 wurde zudem ein Pump- und Anstiegsversuch mit 21 Pump- und Anstiegs-Zyklen à 30 respektive 15 Minuten ausgeführt (Figur 23). Bei rund 88 m<sup>3</sup> Förderrate betrug die Absenkung rund 41 m. Die Absenkung und der Wiederaufstieg waren extrem schnell und praktisch vollständig, die Temperatur- und Leitfähigkeitszunahmen waren nur noch schwach. Der Absenkekanal bei 08-BR1 betrug in diesem Versuch gerade nur 2 m. Dieser Versuch bestätigt die bisherigen Befunde. Die zum Ende dieses Versuchs erfolgte Entnahme aus beiden Brunnen fördert den Zufluss von etwas kälteren, weniger mineralisierten Komponenten (siehe oben).

Die ersten Pumpversuche legten nahe, das Zuflusssystem in den verschiedenen Tiefenstufen besser zu charakterisieren. Zu diesem Zweck eignen sich Packerversuche, bei denen das Bohrloch in definierten Bereichen durch aufpumpbare (expandierbare) Ringe abgedichtet werden kann und der Zufluss entlang der definierten Messtrecke erfasst werden kann.

**Geohydraulische Versuche:** Die verfeinerten Pump- und Aufstiegsversuche in der Bohrung 10-BR2 wurden im Verlauf des Jahres 2010 durch die Firma Solexperts, Mönchaltorf, ausgeführt. Ziel dieser ersten Versuche war es, die Durchlässigkeits- und Potentialverhältnisse in bestimmten Strecken der Bohrungen zu ermitteln sowie die Zuflussmengen, Temperaturen und Chemismus in diesen Strecken besser zu bestimmen. Fünf verschiedene Teststrecken wurden zwischen dem 22. und 26. April 2010 mit expandierbaren Packern (Heavy Duty Double Packer System) hydraulisch isoliert und mit Pumpsteigleitungen der Bohrfirma 3-3/5" und 2-7/8" versehen (siehe Solexperts 2010a, Figur 25 links). Es wurden Proben für die hydrochemischen (CREGE),

fluorometrischen (ETH, W. Balderer) und radiochemischen Analysen (Nucfilm, H. Surbeck) gewonnen (Figur 25 rechts).



**Figur 22:** Bohrloch-Verlauf der vier Bohrungen im Brigerbad, von links nach rechts BR08-1 (282 m), BR10-2 (499 m), BB1 (164 m) und BB2 (175 m erbohrter Länge), (nach ISSKA, 2009). Der Beobachter befindet sich 50 m unter der Rhone und blickt Richtung NNE wo hinter den Bohrungen in der digitalen Landschaft die Talfurche des Gredetsch-Tales sichtbar ist.

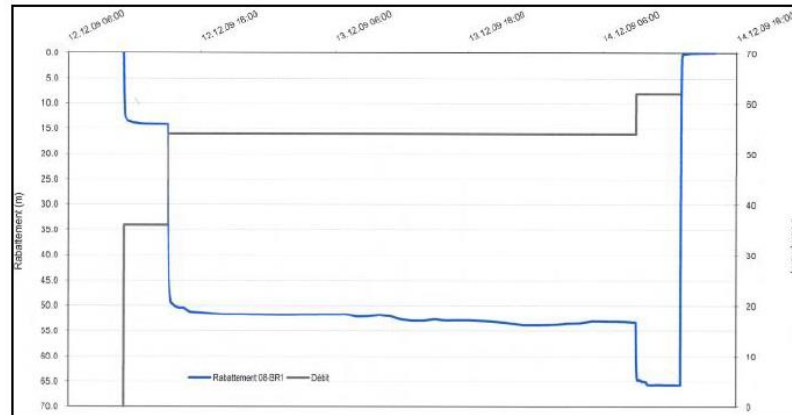
Bohrung (Brunnen) 08-BR1					
Datum	Förderrate (m³/h)	Absenkung in m	Temperatur (°C)	Pumpzeit in h	gepumptes Thermalwasser-Volumen (m³)
12 - 14.12.2009	36	14	25.5	4	143
	54	53	29.2	42	2'267
	62	65	29.3	4	247

Bohrung (Brunnen) 10-BR2 (unter Zuschaltung der Förderung aus Bohrung 08-BR1 zwischen dem 14. und 19. Mai 2010)								
Datum	Förderrate gemäss Förderstufe (m³/h)	Absenkung in m	Temperatur (°C)	Pumpzeit in h	gepumptes Thermalwasser-Volumen (m³)	Hydraulische Berechnungen nach Cassan 1993, Castany 1982 k-Wert (m/s)    Transmissivität (m²/s)		Quelle (Norbert 2010)
18. - 22. März 2010 Tiefe Brunnen: - 321 m OKT	10	1.9	27.7	9	90	9.5 × 10 <sup>-6</sup>	1.7 × 10 <sup>-3</sup>	Anhang C-8
	20	4.2	31.2	19	378			
	30	8	33.3	14	420			
	50	17.7	36.9	49	2'449			
16. - 19. April 2010 Endtiefe von - 499.5 m	50	25	30.4	23	1'149	2.1 × 10 <sup>-6</sup>	-	Anhang C-10
	75	48	34.5	48	3'600			
20. - 21. April 2010 Endtiefe von - 499.5 m	84	45.3	35.3	24	2'016	1.9 × 10 <sup>-6</sup>	-	Anhang C-11
26. - 27. April 2010 Endtiefe von - 499.5 m	87 - 92	41-42	35.9	10.5*	ca. 877	-	-	Anhang C-12
3. - 19. Mai 2010 Endtiefe von - 499.5 m	20	3.7	36.5	7	140	5.9 × 10 <sup>-6</sup>	4.2 × 10 <sup>-3</sup> (1.9 × 10 <sup>-3</sup> im Anstieg)	
	50	14.7	36.2	34	1'700			
	85-88	44.3	37.7	338	28'730			
14. - 19. Mai 2010 Zuschaltung von 08-BR1	20	4.8	29.9		280	-	-	Anhang C-13
	55	29.2	29.6		200			
	30	15.3	30.1		1'380			
	20	6.5	30.3		440			
	55	32	30		ca. 82			
	20	8	30.2		400			

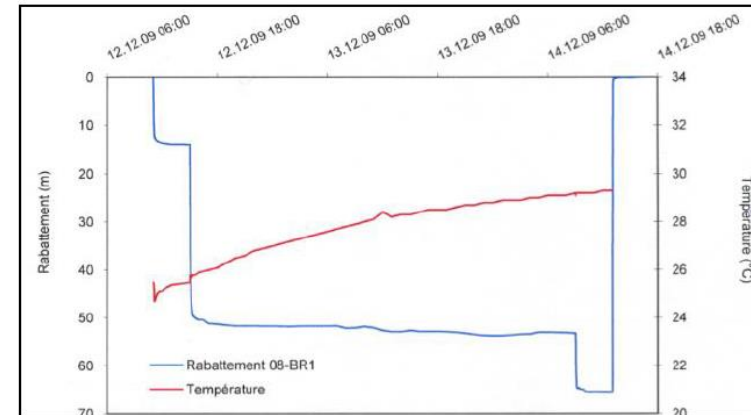
Tabelle 1: Pumpversuche in den Brunnen 08-BR1 und 10-BR2 (\* 21 Zyklen à 30 Minuten)

PG Geothermie Brig-Glis, Schlussbericht Phase 2

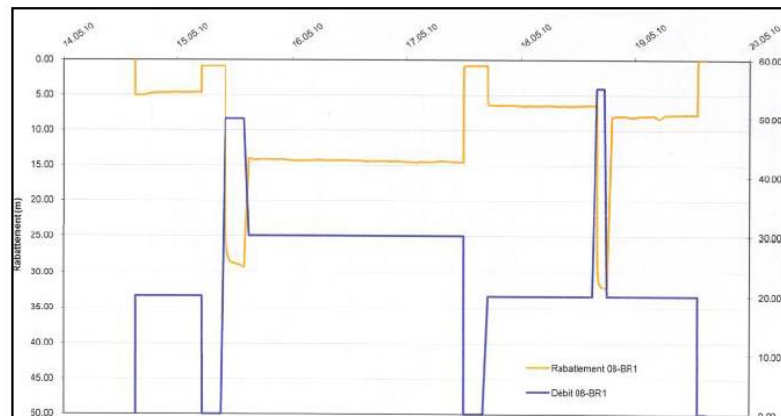
März 2013



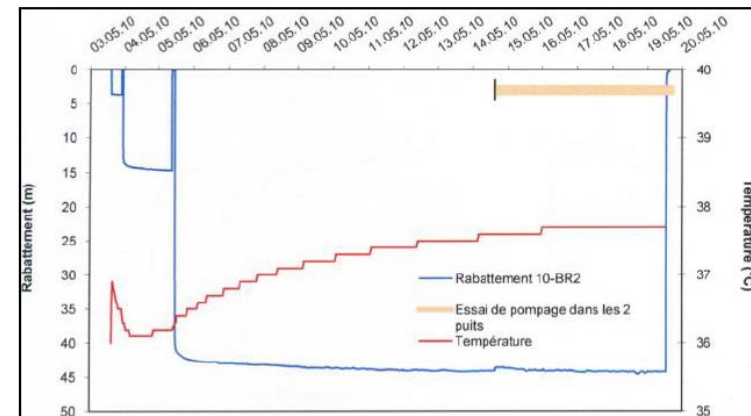
**08-BR1:** Pumpversuch vom 12. - 14. November 2009 (Norbert 2010, Annex B-9a)  
Grau: Verlauf der Pumpstufen; Blau = Verlauf der Absenkung



**08-BR1:** Pumpversuch vom 12. - 14. November 2009 (Norbert 2010, Annex B-9a)  
Rot: Verlauf der Wassertemperatur; Blau = Verlauf der Absenkung

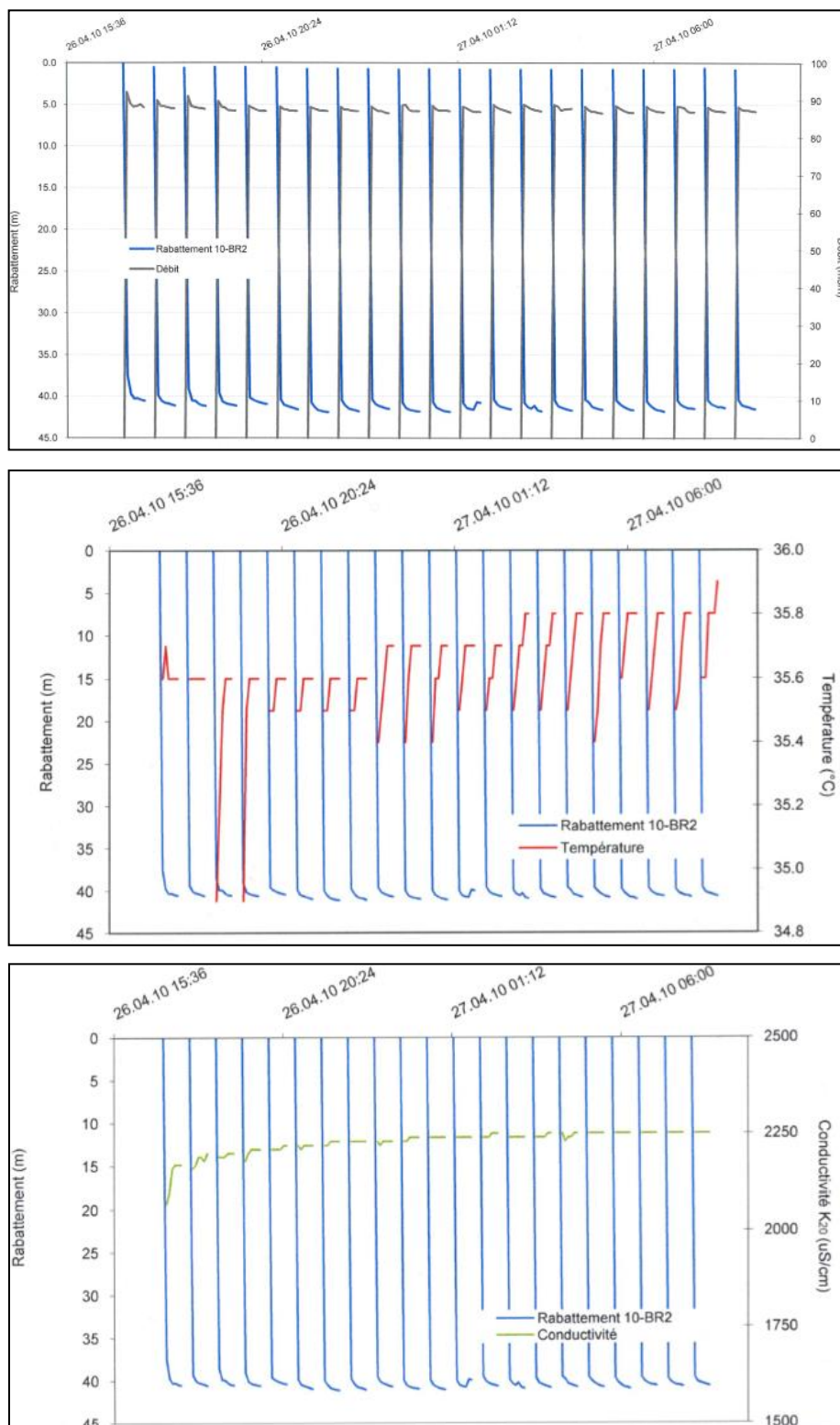


**10-BR2:** Pumpversuch vom 3. - 19. Mai 2010 (Norbert 1010, Annex C-13a-2),  
Auszug 14 bis 19 Mai 2010, Grau: Verlauf der Förderraten; Gelb = Verlauf der Absenkung



**10-BR2:** Pumpversuch vom 3. - 19. Mai 2010 (Norbert 1010, Annex C-13a-2)  
Rot: Verlauf der Wassertemperatur; Blau = Verlauf der Absenkung

**Figure 23:** Pumpversuche und Verlauf der Wassertemperaturen in den Brunnen 08-BR1 (oben) und 10-BR2 (unten), aus Norbert (2010)



**Figur 24:** Pump- und Anstiegsversuche im Bohrloch 10-BR2, Verlauf der Absenkung (oben), der Temperatur (mitte) und der Leitfähigkeit (unten), Norbert (2010, Anhang C-12)



Wichtigste Ergebnisse aus diesen in fünf Intervallen durchgeführten Test sind:

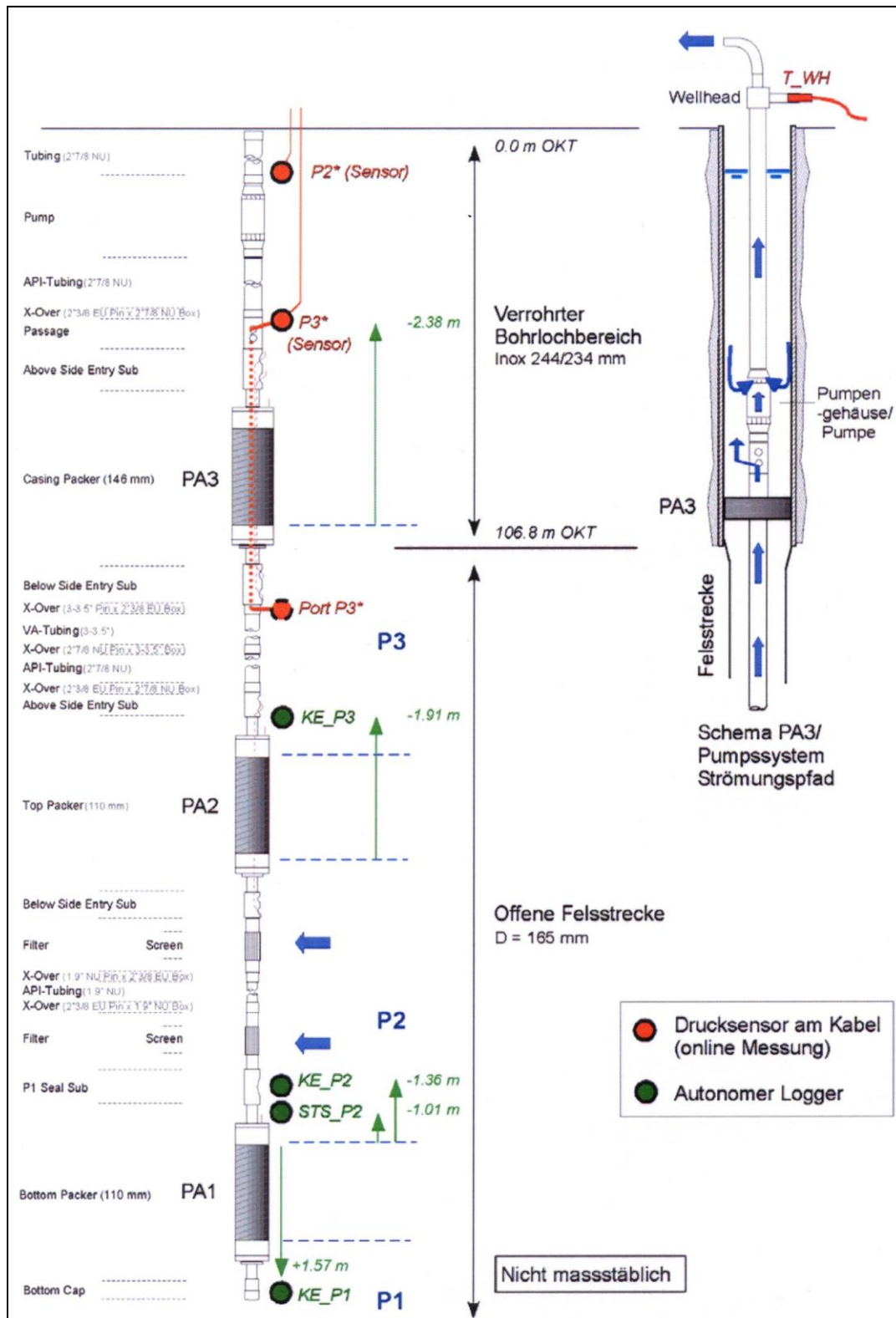
- Die Durchlässigkeiten nehmen - wie erwartet - mit der Tiefe ab. Die Transmissivität (k-Wert mal Laufstrecke) beim Einfachpackerintervall (-162.9m bis -499.3m) ist mit  $6.5^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  nur unwesentlich grösser als die Summe der Transmissivitäten von  $5.0^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  bei den vier separat getesteten Doppelpacker-Intervallen. Die tieferen Bereiche der Bohrung 10-BR2 (unterhalb 162 m) weisen also ähnliche Zufluss-Charakteristiken auf, wobei die Förderraten im untersten Bereich (unterhalb von 382 m) sehr stark zurückgehen.
- Die Temperaturen in den verschiedenen Tiefenbereichen nehmen - wie erwartet - laufend zu (Tabelle 2), und zwar von 37.4°C im obersten Intervall 4 bis 54.2°C im tiefsten Intervall 1. Der thermische Gradient ist ausgesprochen hoch, auch wenn die Förderraten in 10-BR2 tiefenmässig stark zurückgehen.

Intervall	Tiefenbereich in m (Tiefenstufe)	Länge der Stufe in m	Pumprate bei max. Absenkung (l/s)	Temperatur im Intervall (°C)
Intervall 5	162.9 - 499.3	336.4	5.00	40.15
Intervall 4	162.9 - 200.0	37.1	3.50	37.4
Intervall 3	200.0 - 237.1	37.1	4.48	40.3
Intervall 2	281.0 - 318.1	37.1	1.82	47.4
Intervall 1	382.0 - 499.3	117.3	0.05	54.2

**Tabelle 2:** Intervalle, getestete Tiefenbereiche, Pumpraten und Temperaturen

- Interessant ist die Feststellung, dass keine wesentlichen Potenzialdifferenzen (Ruhepotentiale) in den verschiedenen Intervallen festgestellt werden konnten. Das Intervall 2 ist artesisch leicht gespannt. Grundsätzlich pendelt sich das Druckpotential der verschiedenen Zuflüsse bei ca. -5 m unter Oberkante Terrain (OKT) ein.
- Die Leitfähigkeiten in den diversen Förderstrecken sind mit rund 2'400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  mehr oder weniger gleich gross, wobei in den Intervallen 3 und 5 eine leichte Abnahme der Mineralisation festzustellen ist (ca. 10% kleiner), was sich durch den Zufluss von kälteren Wässern erklären lässt.

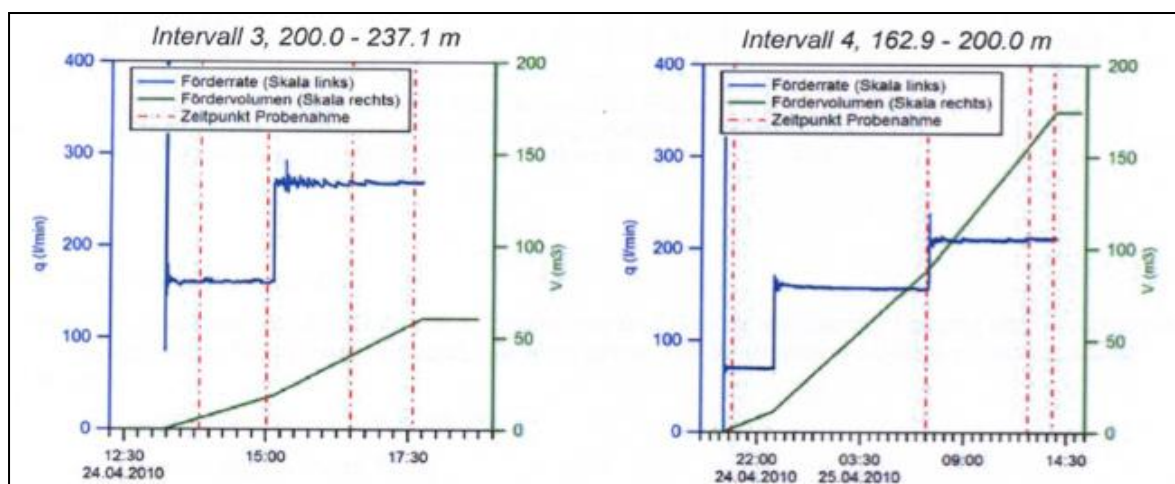
Im Hinblick darauf, das hydraulische System im Untergrund zusätzlich auszutesten, bat die PG Geothermie Brig-Glis die Firma Solexperts, eine weitere Offerte einzureichen. Diese Untersuchungen sollten auch in der Bohrung 08-BR1 erfolgen. Geplant waren insbesondere länger andauernde Pumpversuche in beiden Bohrungen und Messungen in den umliegenden Quellsystemen, sowohl des Thermalbades wie der Quellen im näheren Umfeld (siehe Kapitel 6.3.1). Abgeklärt werden sollte auch die mögliche Bildung von Belägen in den Bohrlöchern (optische Scanner-Befahrung). Vorgesehen waren auch länger andauernde Pumpversuche in wechselnder Konfiguration und mit leistungsstärkeren Pumpen sowie Temperatur-Salinitäts-Logs. Diese Arbeiten wurden aber vorerst durch den Auftraggeber nicht freigegeben.



**Figur 25a:** Schema des High-Q-Doppelpackersystems zur Beprobung von Intervallen (gemäss Solexperts (2010a)).

Datum	Zeit	Intervall	250 ml	100 ml Glas	250 ml	2x20 ml	T <sub>WH</sub> (°C)	T (°C)	L <sub>f</sub> (mS/cm)	pH (-)	Flussrate	Fördervolumen bei PN (V <sub>PN</sub> ), ST=Pumpstufe
			CREGE	Balderer	Nucfilm	pT1000	WTW Lt/Cond 340i				l/min	m <sup>3</sup>
22.04.2010	18:00	1	1				31.2				3.5	4.3
22.04.2010	22:55		1				34.3				3.1	5.3
23.04.2010	07:15		1	1	1	1	35.1	24.2	2.20		2.9	6.8
23.04.2010	16:35	2	1				39.2				119	7.9
23.04.2010	18:50		1				41.7				112	23.2
23.04.2010	22:50		1	1	1	1	41.8	42.9	2.40	7.32	109	49.7
24.04.2010	13:50	3	1				34.0				160	58.5, ST 1
24.04.2010	15:01		1				36.8	37.1	2.15	7.54	159	17.2, ST 1
24.04.2010	16:30		1				37.8	38.0	2.15	7.53	270	40.2, ST 2
24.04.2010	17:35		1	1	1	1	37.8	38.0	2.15	7.51	270	57.6, ST 3
24.04.2010	20:40	4	1				32.5	33.4	2.30	7.18	70	2.0, ST 1
25.04.2010	07:00		1				33.7	34.7	2.39	7.23	156	87.8, ST 2
25.04.2010	12:25		1				34.4	35.0	2.40	7.21	210	155.7, ST 3
25.04.2010	13:45		1	1	1	1	34.7	35.1	2.40	7.18	210	172.6, ST 3
25.04.2010	17:40	5	1				36.9	37.3	2.31	7.15	300	32.2, ST 2
26.04.2010	07:45		1	1	1	1	36.6	37.4*	2.29*	7.15*	299	286.6, ST 2

\*) Ablesung 26.04.2010, 07:10

T<sub>WH</sub> = Temperatursensor beim "Wellhead" (Brunnenkopf)

**Figur 25b:** Beprobte Intervalle und kumulierte Fördervolumen bei Zeitpunkt Probenahme (gemäss Solexperts, 2010a).

## 5.2.6 Wichtigste Erkenntnisse der Untersuchungs-Etappe 2 und Wissenslücken

Die Auswertung aller Messungen vor Ort (insbesondere stukturgeologische Messungen) sowie der angeordneten Feldversuche ergab ein konsistentes Bild über den Aufbau des Untergrundes und die Fließcharakteristiken des hydraulischen Systems:

Alle Messungen an der Oberfläche wie auch die Aufzeichnungen der Bohrlochwände mittels optischen Scannern zeigten auf, dass bevorzugte Kluft- und Schieferungsflächen bestehen, entlang derer die tiefen Wässer zirkulieren. Das Kluft- und Schieferungssystem ist gut untereinander verbunden, womit die Durchmischung der verschiedenen Wässer (kalte Grundwässer des Talbodens, perkolierende Infiltrate, artesisch gespannte Tiefenwässer) im Untergrund gefördert wird. Dies trifft insbesondere in den aufgelockerten Zonen, insbesondere den ersten 100 m Tiefe und danach in vermindertem Mass noch bis in eine Tiefe von rund 300 m unter OKT zu.

Klar zu Tage tritt der Befund, dass die Zuflüsse unterhalb von 300 m Tiefe stark zurückgehen, obschon sich hier die weitaus höchsten Temperaturen messen lassen. Bis zu 60°C wurden im stehenden Wasser der Bohrung 10-BR2 in rund 500 m Tiefe gemessen, bei Mengenzuflüssen von wenigen Minutenlitern

Der lokale geothermische Gradient ist dennoch mit Felstemperaturen von rund 60°C in einer Tiefe von 0.5 km sehr hoch, verglichen mit anderen, in der Schweiz bestehenden Messdaten. Die Bohrungen bestätigen in diesem Sinne die starken Thermalwasser-Zuflüsse und den hohen Wärmefluss aus dem tieferen Untergrund. Die bisher mit indirekten Nachweismitteln hergeleiteten Prognosen von Temperaturen von über 100°C in über 2'000 m Tiefe werden mit den Untersuchungen der Phase 2B erhärtet. Massgebend für die geothermische Nutzung ist allerdings auch die Klüftigkeit des Gesteins in der Tiefe, die mit den grossen Überlasten tendenziell stark zurückgeht. In diesem Zusammenhang konnten auch keine weiteren Erkenntnisse über das Fließsystem gewonnen werden, insbesondere zur Frage der Zirkulationsverhältnisse in unmittelbarer Nähe zur grossen Überschiebungs- oder Abschiebungsfläche zwischen penninischen Decken und Kristallgebirgen. Hinweise auf eine stärkere Zirkulation in Richtung Überschiebung (Abschiebung?) sind die deutlichen höheren Felstemperaturen in 10-BR2 gegenüber 08-BR1 in vergleichbarer Tiefe.

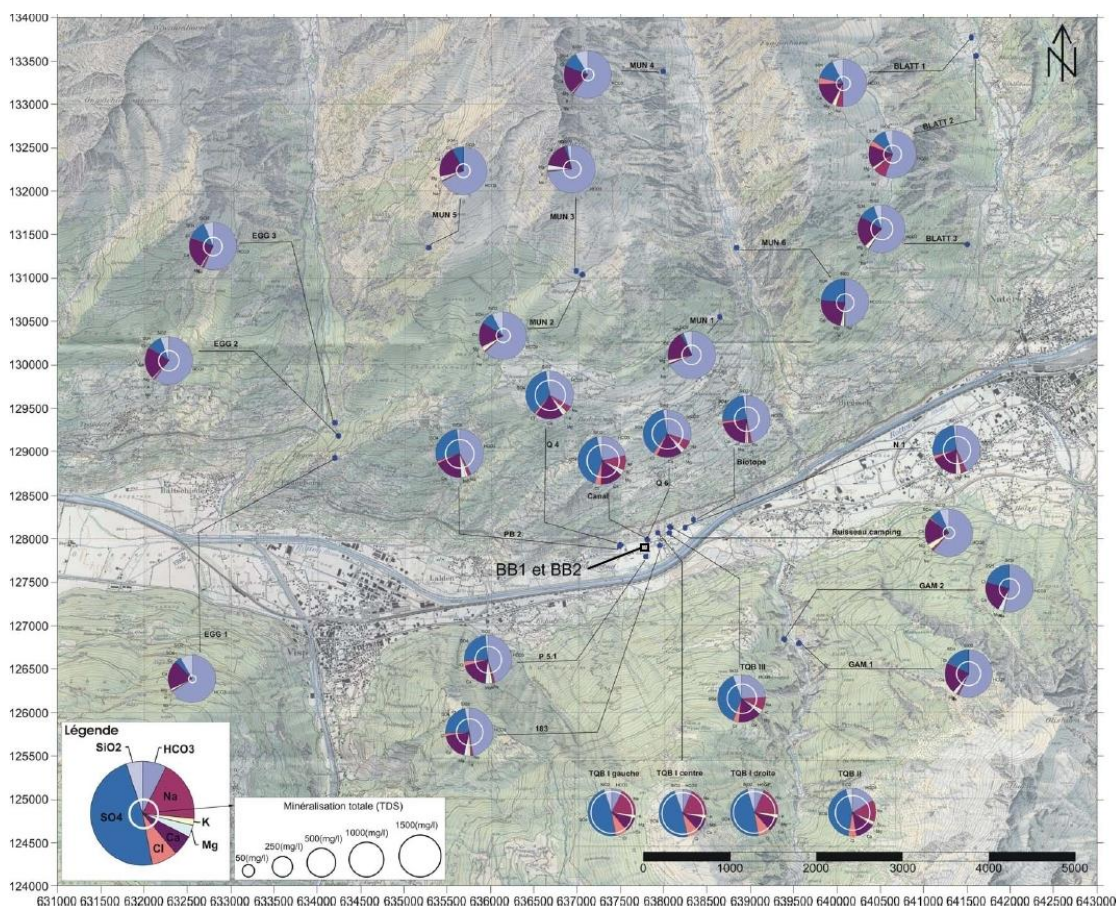


## 5.3 Wichtigste Ergebnisse der hydrochemischen, radiochemischen und seismologischen Untersuchungen

### 5.3.1 Hydrochemische Daten, Überwachung der Thermalwässer und der Quellen

Die hydro- und radiochemische Überwachung der Thermalwässer hat zum Ziel, die Zirkulationswege und die Herkunft der Thermalwässer besser zu verstehen. Insbesondere sollen die beiden vermuteten Wassersysteme, das "heisse" tiefe Thermalwassersystem und das "warme" unterflächere subthermale System besser verstanden werden.

Die Thermalquellen Brigerbad wurden im Rahmen von verschiedenen Diplomarbeiten und Dissertationen im Laufe von fast drei Jahrzehnten untersucht. Die letzte umfassende Synthese erfolgte im Rahmen einer Diplomarbeit 3<sup>ème</sup> cycle des CHYN (Kloos 2004). Kloos erhob neue hydro- und radiochemische Daten der verschiedenen Thermalquellen und stellte eine Synthese aller bis zu diesem Zeitpunkt vorhandenen Daten zusammen (siehe Figur 2). Er unterschied aufgrund dieser Auswertung zwei grössere Thermalwasserkomponenten (thermale und subthermale Komponenten), und schloss bei den verschiedenen Thermalwasseraufstössen auf relativ komplexe Mischungen im Untergrund. Dieses Bild deckt sich mit den jüngeren Erkenntnissen über die verschiedenen Kluftsysteme im Aarkristallin (siehe Kapitel 7).



**Figur 26:** Thermalwässer, Quellzuflüsse und Piezometer im weiteren Umfeld des Brigerbads mit einer Überblicksdarstellung der wichtigsten hydrochemischen Charakteristiken (aus Kloos 2004, Anhang 4). Die Ansatzpunkte für die Bohrungen BB1 und BB2 (2008) wurden nachgetragen, und entsprechen de facto jenen der Bohrungen 08-BR1 und 10-BR2.

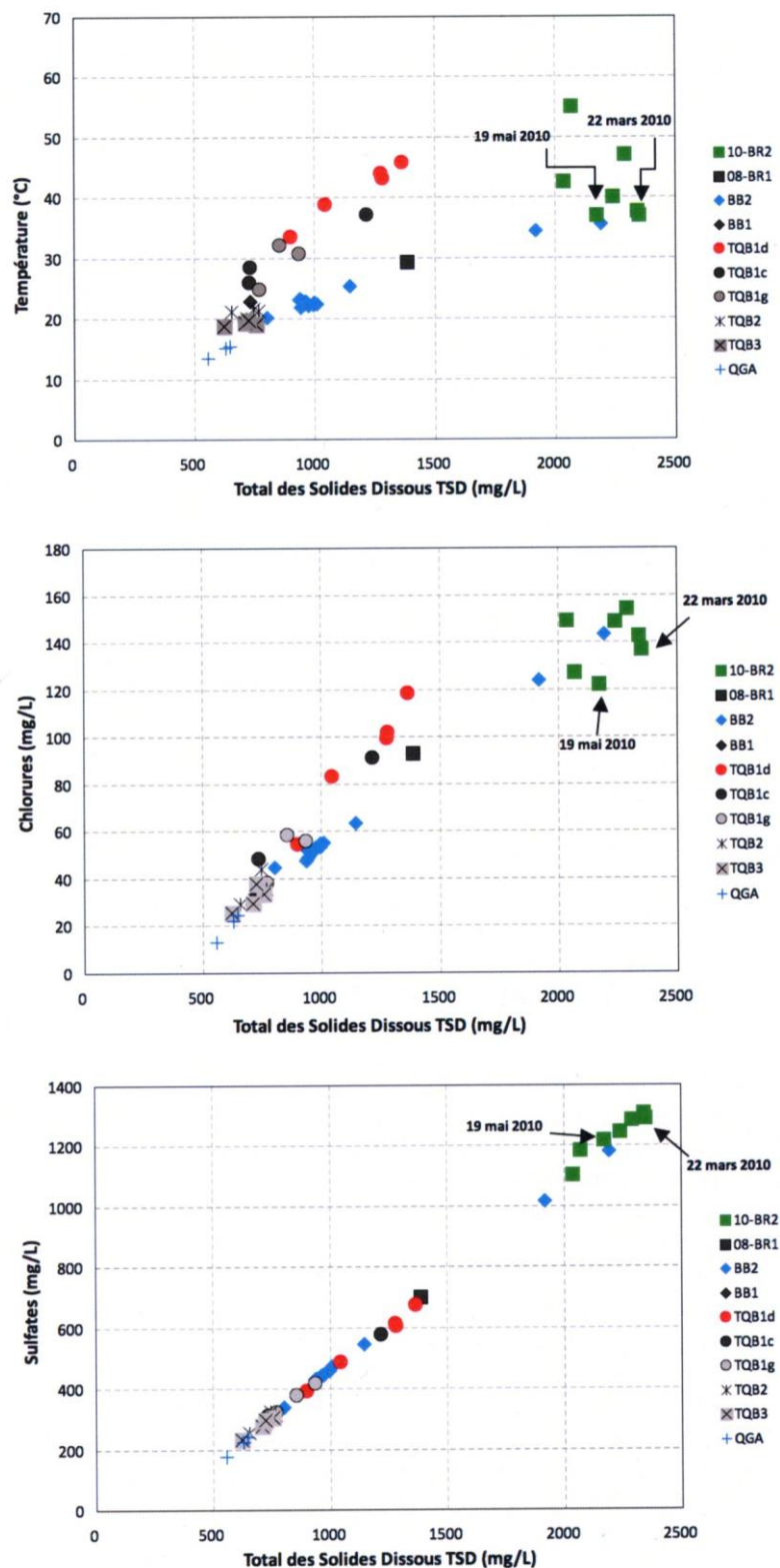


Die Untersuchungen der Planergemeinschaft in der Phase 1 und zu Beginn der Phase 2 bestätigten im Wesentlichen dieses Bild und lieferten wertvolle Hinweise zu den geothermischen Verhältnissen der Quellaufstösse. Die hydrochemischen Analysen ermöglichen es auch, gewisse Schlüsse über die Mischungsprozesse im Kluftwassersystem zu ziehen. Es konnte beispielsweise nachgewiesen werden, dass die "heissen", aus der Tiefe stammenden Thermalwässer (Sulfat-Chlorid-Kalzium-Natrium Fazies) durch subthermale kältere Wässer (Bikarbonat-Calzium-Fazies) verdünnt werden. Hinzu kam in den oberflächennahen Bereichen der Einfluss des Talgrundwassers. Die Mischprozesse im Kluft- und Schieferungsnetz des Aarkristallins werden aber dennoch im Wesentlichen von stark lokalen Gegebenheiten geprägt. Die hydrochemischen Analysen neueren Datums in Zusammenhang mit den Bohrungen BB1 und BB2 zeigten eine veränderte Hydrochemie, die entweder auf Einflüsse des Bohrverfahrens oder auf die Existenz eines weiteren Thermalpols zurückgeführt werden (Sonney & Vuataz 2008, 2010).

In der anschliessenden Phase 2b wurden die hydrochemische Überwachung der verschiedenen Tiefenwässer und der Quellen fortgesetzt (Vuataz et al. 2011, Norbert 2010 [cahier III: sources]).

Bei den Tiefenwässern wurde versucht, die geochemischen Gemeinsamkeiten oder Unterschiede der verschiedenen erbohrten oder gefassten Thermalwässer zu erfassen. Die langjährigen Analysen der verschiedenen Wässer zeigten drei Herkunftspole und drei Mischpole für die Tiefenwässer (siehe auch Kapitel 5.3.2 und 5.3.3). Es zeigte sich, dass insbesondere zwei heisse, tiefe Thermalwasserpole vorliegen, sowie ein Kaltwasserpole. Hinzu kommen drei Mischpole, in denen sich die Ursprungswässer vermischen. Hydrochemisch unterscheiden sich die Wässer, welche in den Bohrungen BB, 08-BR1 und 10-BR2 gefunden wurden, von jenen der Gruppe der ursprünglich gefassten Thermalquellen (siehe auch Figur 27). Verschiedene Hypothesen wurden zur Erklärung beigezogen. Eine erste machte auch den Einfluss des zerriebenen Bohrguts geltend, wurde aber rasch als nicht zielführend beiseite gestellt. Eine zweite Hypothese ging von Lösungsvorgängen von Mineralien wie Gipse oder Pyrite entlang des Kluftsystems aus. Auch diese Hypothese erscheint aufgrund der hydrochemischen Vergleiche der verschiedenen Tiefenwässer in den Bohrungen wenig plausibel. Eine dritte Hypothese bezog sich auf die Tiefengeologie und die durchstömten Formationen. Hohe Sulfat- und Kalziumwerte im Wasser sind Indikatoren für die Auflösung von Gips, das der dem Kristallin auflagernden Termenzone entstammen könnte. Die veränderte Hydrochemie des heissen Thermalwasserpols könnte auf Reaktionsprozesse entlang des Aufstiegs der Wässer zurückgeführt werden. Die Ergebnisse aus der Korrelation der hydrochemischen Untersuchungen der ETH-Zürich (Balderer 2011) stützen diese These (Kapitel 5.3.3). Es ist davon auszugehen, dass die Mischungsverhältnisse im kristallinen Kluftnetz des Aaremassivs entlang einer derart bedeutenden Störungszone entsprechend komplex sind, trotz der generell guten Austauschbarkeit der Wässer, insbesondere im offenen Kluftnetz der Entlastungszone.

Wie Figur 27 auch zeigt, lässt sich der Einfluss der Kaltwasserkomponenten auch bei den angrenzenden Thermalquellen und Quellaufstössen (cf. Figur 26) nachzeichnen. Die Beziehungen zwischen diesen Thermalquellen und den Quellaufstössen einerseits und den Thermalwässern in den Bohrungen andererseits wurde ebenfalls sorgfältig überwacht. Es lassen sich sehr klare Beziehungen zwischen Pumpbetrieb sowie Temperatur und Leitfähigkeit, insbesondere reagieren die Wässer in der Bohrung BB2 ausgeprägt auf solche Eingriffe.



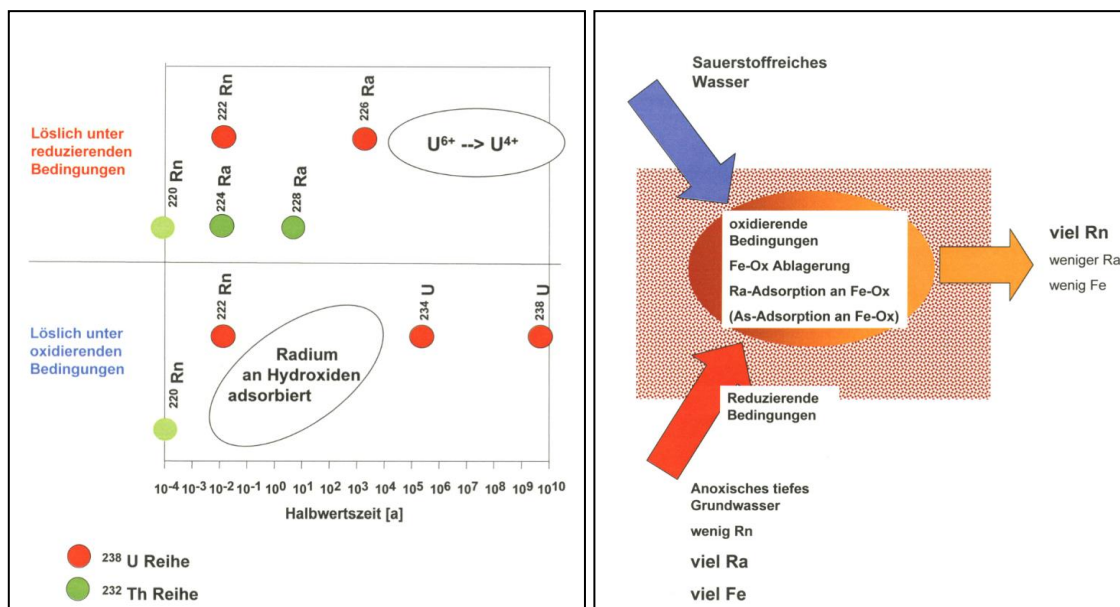
**Figur 27:** Beziehungen zwischen gemessener Temperatur, der Chlorid- und der Sulfatgehalte der Wässer und dem Gesamtgehalt gelöster Stoffe (Total des solides dissous TSD) zwischen 2008 und 2010 (Vuataz et al. 2011)

### 5.3.2 Radionuklid-Analysen

Das Monitoring der Wässer im Untergrund des Brigerbads wurde auch durch Radionuklidanalysen sichergestellt. Die Gehalte an Uran (Isotop U-238 und U-234) und zwei seiner Zerfallsprodukte Radium Ra-226 und Radon Rn-222 wurden zwischen 2007 und 2010 durch die Firma Nucfilm, Cordast (Heinz Surbeck) in definierten Abständen gemessen. Die unterschiedlichen Gehalte an diesen Radionukliden geben Auskunft über die Herkunft der Wässer: Uran ist in Sauerstoff reichen Wässern gut lösbar, fällt aber bei reduzierenden Bedingungen (also im Sauerstoff armen Wasser) als  $U^{+4}$  aus.

Erhöhte Radiumkonzentrationen sind dagegen gute Indikatoren für anoxische Tiefenwässer (Nucfilm 2010). Unter Sauerstoffzufuhr werden Eisen- oder Manganhydroxide an Kluftflächen abgelagert, die Radium stark adsorbieren.

Radon Rn-222, das nächste Zerfallsprodukt in der radioaktiven Zerfallskette, ist ein Gas mit kurzer Halbwertszeit (knapp 4 Tage) und entsteht aus dem Zerfall von Radium Ra-226. Da sich die Eisen- und Mangankrusten im oberflächennahen Kluftsystem befinden, gast das Radon in höheren Konzentrationen aus, was zu den bekannten Aufkonzentrierungen in schlecht durchlüfteten Räumen (Kellern) führen kann (siehe Figur 28). Die oben beschriebenen Vorgänge sind in Gainon (2008) umfassend dargestellt.

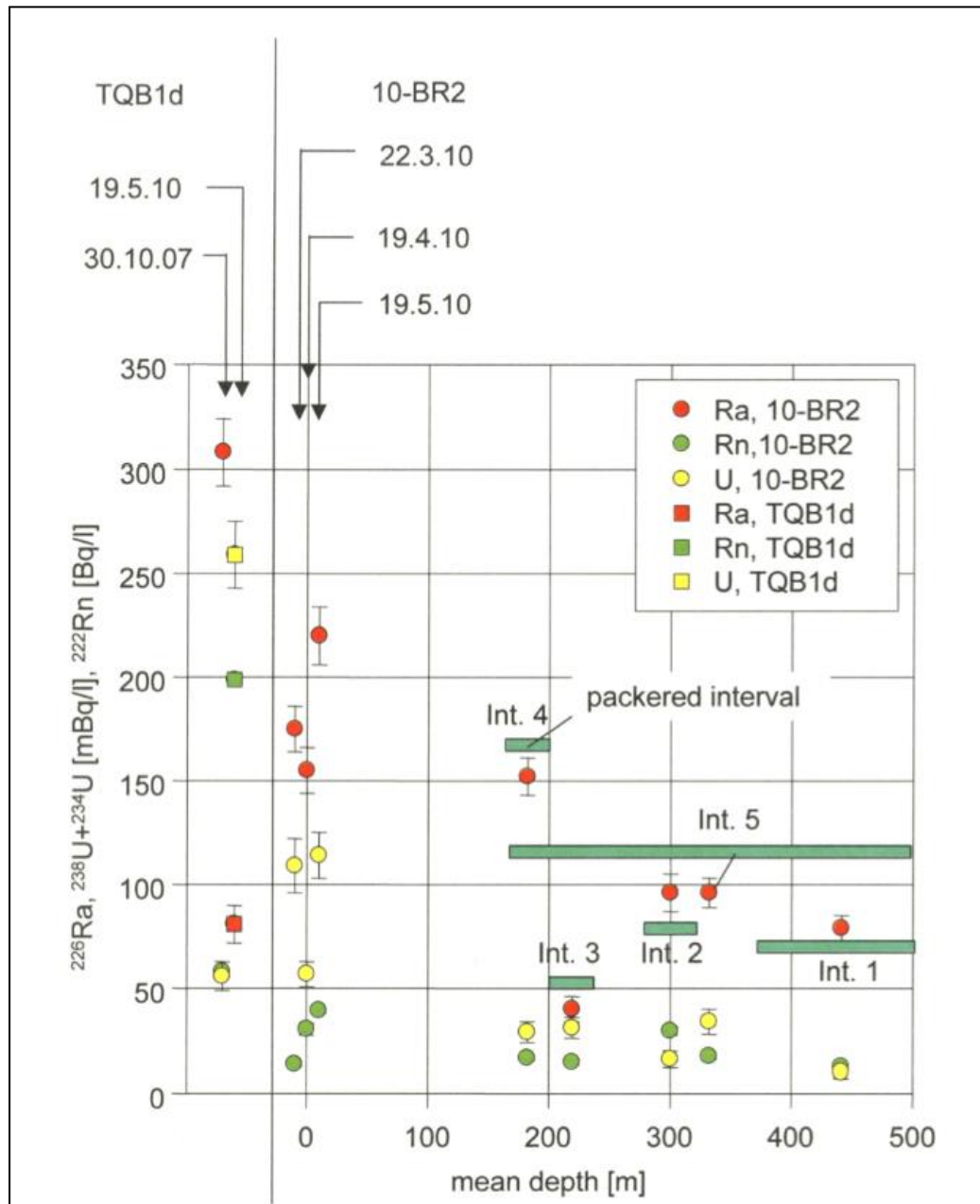


**Figur 28:** Im Grundwasser dominierende Radionuklide und ihre Verteilung im Untergrund respektive im Grundwasser (nach Nucfilm, 2010)

Bereits in der Phase 1 der Untersuchungen im Brigerbad wurde festgestellt, dass verschiedene Grund- und Tiefenwässer vorkommen und komplizierte Mischungsverhältnisse zu beobachten sind. Die Radionuklidanalysen ermöglichten es, diese Komponenten und Mischungen besser zu beschreiben. Es sind hauptsächlich drei Zirkulationssysteme zu betrachten:

- ein erstes Zirkulationssystem besteht aus den anoxischen Tiefenwässern, welche entlang der grossen Überschiebungs- (oder Abschiebungs-)fläche in den geklüfteten oder verschieferten kristallinen Gesteinen fließen. Diese Wasserkomponente enthält wenig gelöstes Uran, dafür aber erhöhte Gehalte an Radium;
- ein zweites Zirkulationssystem besteht aus den Infiltraten (Regenwässer) des Kristallinmassivs, welche in der Zone der grossen Entlastungsbrüche zirkulieren und bis in Tiefen von wenigen hundert Metern vordringen. Diese Wässer enthalten erhöhte Urankonzentrationen;
- ein drittes wichtiges Zirkulationssystem sind die kalten Talgrundwässer, die in den quartären Ablagerungen (Schotter, Sande sowie Hang- und Blockschutt) der Alluvialebene des Rotten zirkulieren.

Diese drei Zirkulationssysteme treffen in unterschiedlicher Tiefe aufeinander. In den ersten rund 100 m und entlang der Kontaktzone zum Talboden beeinflussen vor allem noch starke Kaltwasserzutritte aus den quartären Ablagerungen das aus der Tiefe aufsteigende Thermalwassersystem. Im Inneren des kristallinen Massivs treffen die anoxischen Tiefenwässer auf die Kaltwasserkomponente des zweiten Zirkulationssystems aufeinander. Uran und Radium werden gegenüber den Ursprungskomponenten im Kluftsystem abgereichert und bilden das fixierte Reservoir, aus dem das Radon entgast (cf. Figur 29).



**Figur 29:** Uran-, Radium- und Radonkonzentrationen in der Bohrung 10-BR2 und Vergleich mit den Konzentrationen der heissen Quelle des alten Bades (TQB1). Die Messungen auf der linken Seite (Messdatum wird durch Pfeile angegeben) zeigen die Werte der gepumpten Wasserproben aus 10-BR2 oder der Proben aus der heissen Quelle TQB1. Auf der rechten Seite zeigen die grünen Balken die Teststrecken an, die mit Packern versehen wurden. Die Ergebnisse der Messungen der Proben, die aus diesen Teststrecken entnommenen wurden, sind jeweils in der Mitte und senkrecht zu den Teststrecken angeordnet (Surbeck Heinz / Nucfilm [2009]).

Die Mischungsverhältnisse zeigen sich auch an der Temperatur. Die Temperatur der thermalen Komponente lässt sich durch die Extrapolation der Radonkonzentrationen abschätzen. Nucfilm (2010) berechnete eine Temperatur von 60°C der Thermalkomponente unmittelbar vor der Durchmischung mit den Kaltwasserkomponenten, was sehr gut mit den in der Bohrung 10-BR2 angetroffenen Verhältnissen übereinstimmt.

Interessant sind in diesem Zusammenhang auch die hohen Radonkonzentrationen von über 200 Bq/l in der alten heißen Quelle des Thermalbads (TQB1).

Die Proben aus der Bohrung 08-BR1 (die Richtung Kristallinmassiv geht) weisen erhöhte Radium- und hohe Urankonzentrationen aus, was darauf schliessen lässt, dass sich hier anoxische Tiefenwässer und die Kaltwasserkomponente aus den Kristallin-Infiltraten mischen.

Die senkrecht ausgeführte Bohrung 10-BR2 nähert sich grundsätzlich der Überschiebungszone und somit den thermalen Zuflüssen. Die Proben der Pumpversuche (Mischwasser) zeigen dennoch tiefere Uran- und höhere Radiumkonzentrationen. Interessant ist dabei, dass die Proben aus den mit Packern abgedichteten Strecken deutlich weniger Uran enthalten, als die Proben aus dem Pumptest. Nucfilm (2010) schliesst daraus, dass die Mischzone der verschiedenen Wässer oberhalb von 163 m liegt.

Massnahmen zum Strahlenschutz: Gemäss Jahresbericht 2009 der internationalen Strahlenschutzkommission ICRP wurde das Lungenkrebsrisiko durch Radon bisher massiv unterschätzt. Immerhin beträgt die durchschnittliche Jahresdosis der Schweizer Bevölkerung durch Radon laut Bundesamt für Gesundheit (BAG, Jahresbericht 2012) 3.2 mSv pro Person, was über 60 % der gemittelten jährlichen Strahlenbelastung ausmacht. Von den rund 2'700 jährlichen Todesfällen durch Lungenkrebs führt das BAG rund 7 bis 11 % - also immerhin 200 bis 300 Fälle - auf Radon zurück. Radonkonzentrationen im Wohn- oder Arbeitsbereich von 100-200 Becquerel pro Kubikmeter Luft gelten laut Weltgesundheitsorganisation WHO bereits als problematisch. Die Massnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor Radon sind daher wichtig.

Nucfilm (2010) ortet die Relevanz der Radonbelastung in Innenräumen des Bads aufgrund der Aufenthaltsdauer vor allem beim Arbeitspersonal. Generell genügt eine gute Dauerbelüftung von geschlossenen Innenräumen durch Frischluft, um die Radonkonzentrationen drastisch zu senken. Auch Filtrier-Schlämme mit Uran-, Radium- und anderen Tochterprodukten sind - wie auch Nucfilm (2010) hervorhebt - als potentiell gesundheitsschädigende Emissionsquellen nicht zu unterschätzen. Das Thermalbad sollte diesen Erkenntnissen beim Betrieb der jetzigen Anlagen sowie der Planung der neuen Thermalanlage Rechnung tragen.

### 5.3.3 Chemische und fluorometrische Untersuchungen und Befunde

Die chemischen und fluorimetrischen Untersuchungen der ETH Zürich (Werner Balderer) sollten die Zuflussbedingungen überwachen und eventuelle Veränderungen des Regimes feststellen. Von Interesse waren insbesondere mögliche Veränderungen im Spannungsfeld des Untergrundes (z. B. Erdbeben) sowie betriebsbedingte Einflüsse wie die Entnahme von Wasser aus dem Quellbecken für Badebetrieb und Gebäudeheizung respektive der Einfluss der Sondierungen und die Grundwasserentnahme in diesen Brunnen (Balderer 2011). Die Untersuchungen erfolgten an der Hauptquelle TQB1 während des Normalbetriebs des Thermalbads.

Zunächst wurden die chemische Beschaffenheit der Thermalwässer und deren Veränderungen anhand von 301 Proben untersucht. Es wurde versucht, mögliche Beziehungen zwischen den verschiedenen Inhaltsstoffen herzustellen. Tabelle 3 gibt einen Einblick in diese statistisch ermittelten Beziehungen.

Die statistische Auswertung mittels Korrelationskoeffizienten zeigen für viele Inhaltspaare sehr starke Zusammenhänge (grüne Werte), was Ausdruck für die Herkunft der Inhaltsstoffe aus dem gleichen Reservoir ist. Bei Werten unterhalb von 0.5 (gelb unterlegte Werte) ist der Zusammenhang möglich, während dem bei violetten Werten (unterhalb von 0.3) keine Zusammenhänge erkennbar sind. Natürlich haben Mischvorgänge verschiedener Wässer, Ausfällung oder Sorption entlang von Transportwegen einen zusätzlichen wichtigen Einfluss auf die Korrelationsergebnisse. Starke Korrelationen sind bei Salzpaaren (z. B. Natrium/Chlorid; Natrium/Sulfat; Kalium/Bromid) sowie bei bestimmten Erdalkalimetallen (Lithium/Kalium; Rubidium/Cäsium) feststellen. Solche starken Beziehungen lassen auf die gemeinsame Herkunft aus dem gleichen Reservoir schliessen, etwa aus der tiefen Thermalwasserkomponente (Lithium/Kalium; Rubidium/Cäsium) oder aus



triassischen Sedimenten (Termenzone). Diese Beziehungen legen die Mischung von Wässern aus verschiedenen tiefen Reservoirs nahe.

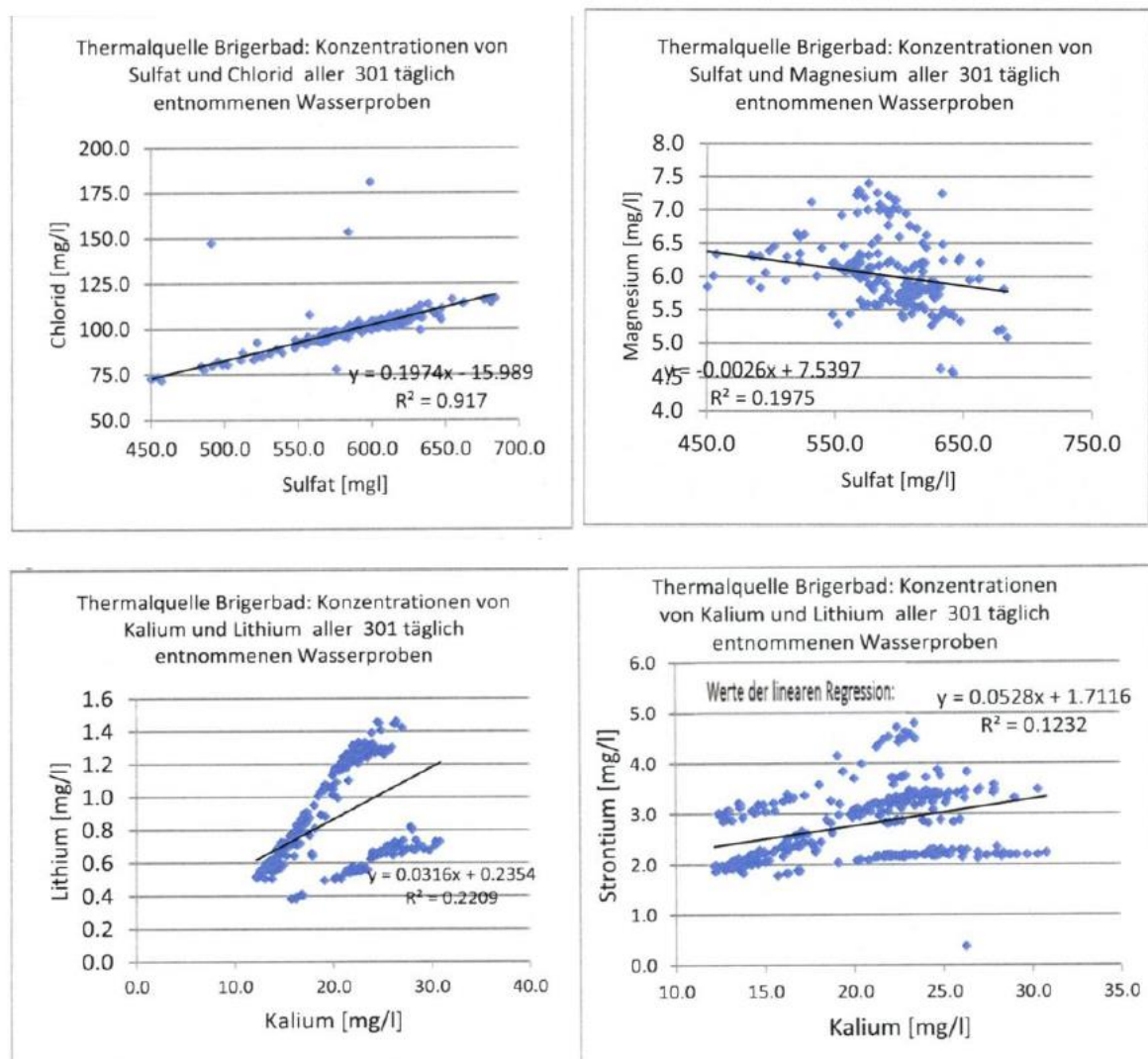
Resultate der linearen Regression mit resultierendem Bestimmtheitsmass $R^2$					
Tägliche Wasserproben 5.11.2010 bis 16.12.2010			Für alle 301 entnommenen Proben		
Fig. Nr.	Geprüfte Korrelation	$R^2$	Fig. Nr.	Geprüfte Korrelation	$R^2$
29	Cäsium/Rubidium	0.8699	22	Natrium/Sulfat	0.9425
27	Natrium/Chlorid	0.857	24	Chlorid/Sulfat	0.917
21	Natrium/Sulfat	0.8444	32	Kalium/Sulfat	0.8759
33	Lithium/Kalium	0.655	36	Bromid/Kalium	0.8757
35	Bromid/Kalium	0.6353	28	Natrium/Chlorid	0.8755
37	Strontium/Kalium	0.2681	31	Fluorid/Sulfat	0.7376
25	Calcium/Sulfat	0.0103	44	Natrium/Calcium	0.4858
			30	Cäsium/Rubidium*	0.4829
			41	Kalium/Calcium	0.4532
			26	Calcium/Sulfat	0.4206
			42	Fluorid/Calcium	0.2672
			34	Lithium/Kalium	0.2209
			23	Magnesium/Sulfat	0.1975
			38	Strontium/Kalium	0.1232
			40	Lithium/Calcium	0.0912
			43	Strontium/Calcium	0.0493
			39	Magnesium/Calcium	0.0173
22	Lineare Beziehung mit $R^2 \leq 1.00 \geq 0.50$		→	Beziehungen signifikant vorhanden	
44	Lineare Beziehung mit $R^2 \leq 0.50 \geq 0.40$		→	Beziehungen möglich	
42	Lineare Beziehung mit $R^2 \leq 0.40$		→	keine wirkliche Abhängigkeit	

**Tabelle 3:** Analysierte Wasserinhaltsstoffe der täglich entnommenen Proben (5.11. bis 16.12.2010) sowie der Gesamtmenge der 301 entnommenen Proben: Charakterisierung der Beziehung zwischen Inhaltsstoffpaaren (Balderer 2011)

\* Messungen 12.2 bis 6.8.2010

Nicht alle Beziehungen sind hingegen interpretierbar oder einfach interpretierbar. Die Interpretation von Mischwässern lässt sich oftmals nicht so einfach aufschlüsseln, wie dies etwa die Figur 30 zeigt, womit auch diesen Korrelationsergebnissen mit einer gewissen Vorsicht zu begegnen ist.

Bei der oberen Darstellung links von Figur 30 kann die Korrelation Sulfat-Chlorid gut mit einer Regressionsgerade in Übereinstimmung gebracht werden und der ermittelte Korrelations-Koeffizient erscheint sehr plausibel. Im Gegensatz dazu steht etwa die Korrelation Sulfat-Magnesium der Figur 30 rechts oben, aufgrund derer sich kaum eine verlässliche, datenmässig belastbare Regressionsgeraden ermitteln lässt. Die beiden Darstellungen in der Figur 30 unten bringen ein weiteres Problem zum Ausdruck. In beiden Fällen lassen sich einzelne Korrelationen Kalium-Lithium und Kalium-Strontium ausmachen, in die sich Regressionsgeraden (rot gestrichelte Linien) sehr gut einfügen lassen. Die statistische Auswertung müsste diesen Rahmenbedingungen Rechnung tragen und keine über alle Messergebnisse gehenden Korrelationskoeffizienten berechnen. Für diese rot gestrichelten Regressionsgeraden würden sich signifikante Korrelationskoeffizienten ermitteln lassen. Die einzelnen Punktwolken wären Ausdruck für die eine Veränderung in der Zusammensetzung (Mischung) der Wässer im Untergrund. Diese Beispiele illustrieren wie wichtig und heikel die sorgfältige Interpretation von Messdaten ist.



**Figur 30:** Vier Beispiele der graphischen Darstellung der Messergebnisse von Inhaltsstoffpaaren und lineare Regression mit Pearsons Korrelations-Koeffizient: **oben links** Chlorid versus Sulfat (alle 301 Proben) **und oben rechts** Magnesium versus Sulfat (alle 301 Proben), **unten links** Lithium versus Kalium (alle 301 Proben) **und unten rechts** Strontium versus Kalium. Schwarz gestrichelt: Regressionsgeraden für die zusammengehörenden Punktwolken

Fluoreszenzspektroskopie-Untersuchungen an Wasserproben aus Gebieten, in denen Erdbeben stattgefunden haben, zeigen charakteristische Unterschiede in den analysierten Fluoreszenzspektren, je nachdem die Proben vor oder nach einem Erdbebenereignis gewonnen wurden (Balderer 2011). Diese Erfahrung sollte auch im Brigerbad angewendet werden, wobei Ausschau nach einem einfacheren Messverfahren gehalten wurde. Das für die Fluoreszenz-Untersuchung ausgewählte Gerät (Typ CHYN / FL30) zeichnete die Spektralbereiche für die Thermalquelle Brigerbad (TQB1) im Zeitraum zwischen dem 27. Oktober bis zum 16. November 2010 auf, und zwar für zwei bestimmte Spektralbereiche. Einer dieser Spektralbereiche (Tinopal X) gibt allfällige Veränderungen in den Untergrundprozessen (z. B. durch Erdbeben) besonders gut wider. Die Messungen an der Brigerbadquelle gaben aber keine Hinweise auf eine Veränderung der natürlichen Fluoreszenzen. Die Messungen und erforderlichen Geräteadaptationen sind weiterhin im Gang.

### 5.3.4 Seismologische Befunde

Im Oktober 2009 installierte der Schweizerische Erdbebendienst (ETH Zürich, Stefan Husen und Toni Kraft) die Erdbeben-Messstation BIBA auf dem Gelände des Brigerbads innerhalb einer kleinen Grotte an der nördlichen Talflanke. Diese Messstation registrierte bis zum Mai 2011, dem Ende der Beobachtungsperiode, im Umkreis von 20 km 52 lokale natürliche Erdbeben mit lokalen Magnituden zwischen 0.3 und 2.4 (siehe Auszug Tabelle 4, siehe auch Figur 31). Keines dieser Ereignisse erforderte ein Eingreifen des Bereitschaftsdienstes 24/7 vom Schweizerischen Erdbebendienst (z. B. manuelle Analyse des aufgezeichneten Ereignisses maximal innerhalb der nächsten Tage).

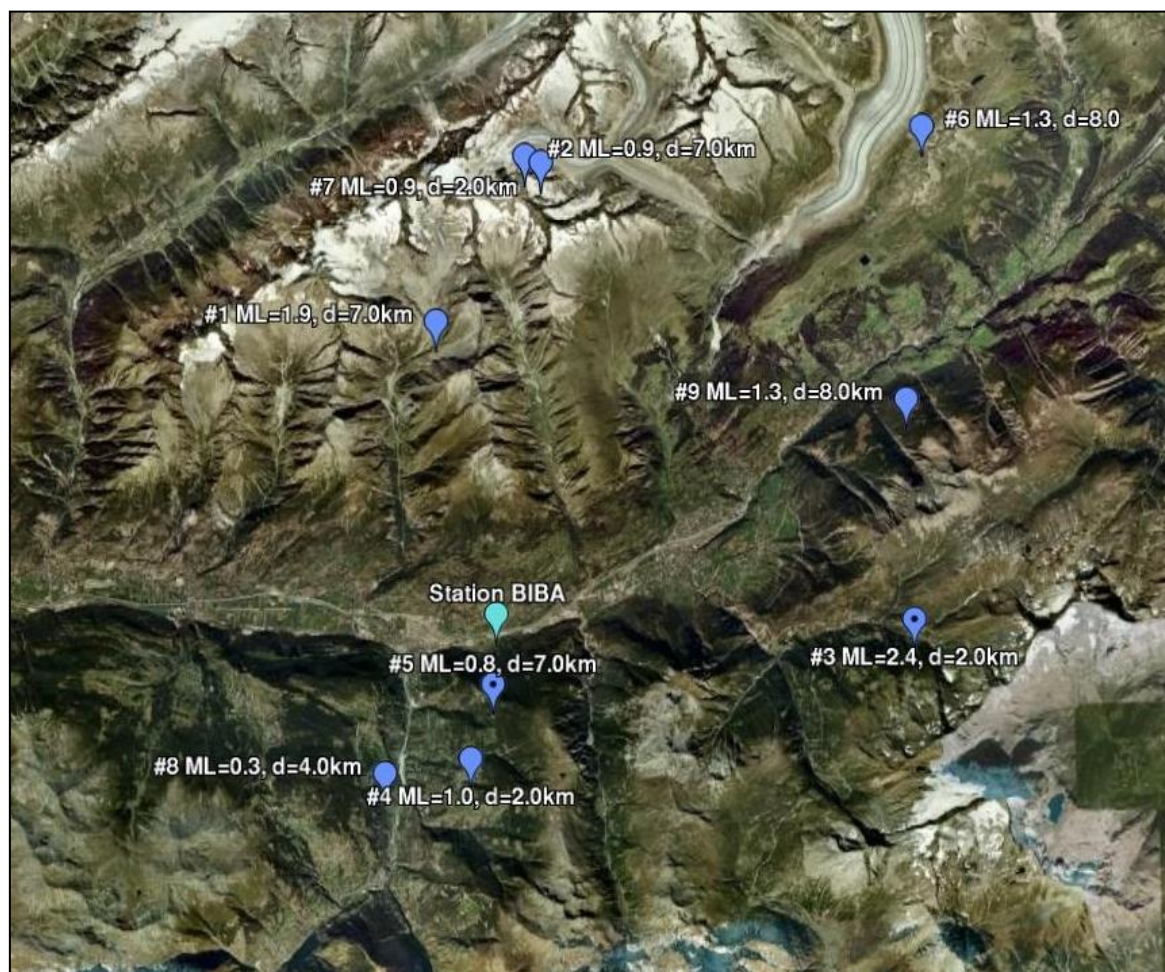
N r.	Herdzeit (UTC)	Mag. ML	Lat.[°]	Lon.[°]	Tiefe [km]	Name der Region
1	18-05-2011 15:19:37	1.9	46.359	7.889	7.0	Lötschental
2	11-01-2011 04:23:07	0.9	46.417	7.932	7.0	Aletschgletscher
3	03-12-2010 10:11:30	2.4	46.296	8.073	2.0	Brig
4	23-20-2010 19:06:39	1.0	46.26	7.903	2.0	Raron
5	02-09-2010 16:43:00	0.8	46.28	7.927	7.0	Brig
6	03-08-2010 09:59:52	1.3	46.443	8.087	8.0	Aletschgletscher
7	23-06-2010 16:47:16	0.9	46.411	7.931	2.0	Aletschgletscher
8	15-05-2010 08:27:04	0.3	46.257	7.87	4.0	Raron
9	28-02-2010 20:03:50	1.3	46.358	8.074	8.0	Aletschgletscher

**Tabelle 4:** Registrierte Erdbeben im Umkreis von 20 km von der Station BIBA im Brigerbad SED (2011), Ortsbezeichnungen gemäss topographischen Karten 1:25'000, swisstopo

Das sehr kleine Beben von Brig vom 3. Dezember 2010 mit einer lokalen Magnitude von 2.4 sticht dabei als stärkstes Ereignis hervor. 8 weitere Beben erreichten Magnituden zwischen 0.3 und 1.9 ML. Interessant ist die kartographische Lage der Beben, die sich wie auf Linien anordnen, obschon hier kein eindeutig korrelierbares Muster (z. B. mit Störungszonen) zu erkennen ist (Figur 31).

Wichtigstes Ergebnis der seismologischen Überwachung ist die Bestätigung, dass das Abteufen der Bohrung, die hydraulischen Tests und die Wasserentnahme durch das Thermalbad - wie erwartet - keine messbaren Erschütterungen mit Magnitude > 0.3 ML zur Folge hatten. Dieses Ergebnis ist deshalb wichtig, weil Befürchtungen über induzierte Seismizität bestehen, seit verschiedene EGS-Projekte (Enhanced Geothermal Systems) oder tiefe Hydrothermal-Projekte Erschütterungen und kleinere Erdbeben erzeugt haben (z. B. Deep Heat Mining Projekt in Basel, Power Plant in Landau, BRD, EGS-Projekt Gross-Schönebeck), die meist aber unterhalb der Fühlbarkeitsgrenze lagen. Es sind somit im betrachteten Messzeitraum keine messbaren Spannungsumlagerungen durch Aktivitäten im Brigerbad registriert worden.

Dennoch hat die seismologische Überwachung interessante Ergebnisse zu Tage gefördert. Zunächst konnte eine leicht erhöhte Bodenunruhe in einem mittleren- bis oberen Bereich (sogenannter "Noise"-Bereich) während dem Zeitraum von Anfang Juli bis Ende Oktober 2010 registriert werden, einem Zeitraum, der nicht durch Bohraktivitäten gekennzeichnet war. Diese Bodenunruhe steht wahrscheinlich in Zusammenhang mit Aktivitäten im Thermalbad und auf dem Campingplatz.



**Figur 31:** Epizentren der in der Tabelle 6.3.4 aufgeführten Erdbeben, die an der Station BIBA im Brigerbad registriert wurden (SED).



### 5.3.5 Kurze Synthese der Ergebnisse der Untersuchungen

Die verschiedenen Untersuchungsprogramme für die Wässer im Untergrund und für die Bodenerschütterungen über die Dauer der Untersuchungen haben sehr wertvolle und auch konsistente Ergebnisse ergeben.

Das hydrochemische und radiochemische Monitoring der verschiedenen Wässer hat insgesamt interessante Ergebnisse zu Tage gefördert. Die thermische Anomalie an der Nordflanke des Rottentales entlang der grossen Überschiebung (Abschiebung) der Sedimentdecken auf die Kristallinmassive ist ausgeprägt. Dass Felstemperaturen um 60°C in 500m Tiefe gemessen wurden ist beachtlich. Diese Temperaturen sind auf die Zirkulation von warmen Tiefenwässern zurückzuführen. Es dürfte keinen Punkt in der Schweiz geben, bei dem der geothermische Gradient so ausgeprägt ist. Es ist seit geraumer Zeit bekannt, dass die Thermalwässer aus grösseren Tiefen aufsteigen müssen. Kloos (2004) nimmt aufgrund von Auswertungen verschiedener Wasserinhaltsstoffe (Geothermometer) das Reservoir in einer Tiefe von über 2000 m an. Die Temperaturen des Thermalwassers im Reservoir könnten bis gegen 110°C betragen (Kloos 2004, Mignot 2011). Messungen von F. Vuataz im Jahr 1977 in der Quelle TQB1 hatten schon sehr viel früher auf Reservoirtemperaturen von mehr als 50°C hingedeutet.

Erfreulicherweise haben die unterschiedlichen Untersuchungen durch die beigezogenen Institute und Fachleute zu sehr konsistenten Ergebnissen bezüglich der Interpretation der Herkunft und der Mischung der verschiedenen Wässer geführt. Verschiedene Wasserpole aus verschiedener Herkunft wurden schon seit langem postuliert. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen konnten diese Ergebnisse vollumfänglich bestätigt und detailliert werden. Es liegen mindestens zwei tiefe Thermalwasserpole und eine subthermale Wasserkomponente vor, zuzüglich der kalten Talgrundwässer der Alluvialebene des Rotten. In der Entlastungszone entlang von grösseren Störungen und im kommunizierenden Kluft- und Schieferungsnetz ist die Wasserzirkulation besonders ausgeprägt. Hier liegen auch die verschiedenen Mischzonen der verschiedenen Wässer und hier laufen auch essentielle chemische und radiochemische Prozesse ab. Einer tiefen Thermalwasserkomponente aus dem Kristallin steht auch eine Thermalwasserkomponente zur Seite, die sich mit leicht löslichen Salzen aus der Termenzone aufsättigt. Der regional nachweisbare Aufstoss von warmen Wässern entlang der Talflanke zeigt, dass im Talabschnitt zwischen Brig und Visp ein hohes geothermisches Nutzungspotential besteht, dass heute in erster Linie durch das Thermalbad Brigerbad genutzt wird.

Schliesslich sind die Ergebnisse des seismischen Monitorings zu erwähnen: dieses zeigt einerseits, dass natürliche Beben von kleiner Magnitude häufig vorkommen und sich geometrisch sehr wohl einordnen lassen. Wichtig für das Thermalbad ist, dass während dem Pumpbetrieb in den Brunnen (wie erfahrungsgemäss auch während der Ausführung der Bohrungen) keine Erschütterungen durch die Messstation nachweisbar waren. Sicher ist ein Grundrauschen vorhanden, das aber an jeder Stelle nachgezeichnet werden kann, an dem menschliche Aktivitäten zu verzeichnen sind. Das generell hohe Erdbebenrisiko im Wallis bleibt allerdings eine nicht abstreitbare Tatsache, die auch bei einer geothermischen Produktion sehr ernst genommen werden muss.



## 6 *Synthese der Ergebnisse, Empfehlungen für das weitere Vorgehen*

### 6.1 Wichtigste Ergebnisse

Das Geothermieprojekt Brig-Glis hat in den ersten beiden Phasen ausserordentlich positive Ergebnisse geliefert. Zusammenfassend sei festgehalten:

- Die sorgfältige Planung des Projektes ermöglichte es, die für ein solches Projekt erforderlichen Felddaten und Untersuchungen in einem kurzen Zeitraum erfolgreich auszuführen. Die angeordneten geophysikalischen Untersuchungen ergaben interpretierbare Ergebnisse und konnten mit Hilfe bestehender Bohrungen kalibriert werden. Die Auswertung der vorhandenen Strukturdaten ermöglichte es, die Hauptsysteme für die Zirkulation der Thermalwässer zu ermitteln, die für die Ausrichtung der Bohrungen von essentieller Bedeutung waren.
- Es wurden in zwei Etappen vier Bohrungen ausgeführt. Alle Bohrungen förderten Thermalwasser zu Tage. Insbesondere die tiefen Bohrungen 08-BR1 und 10-BR2 förderten sehr viel Thermalmischwasser (55 m<sup>3</sup>/h im Standard-Badbetrieb) bei hohen Temperaturen zutage (ca. 38°C ohne festgestellte Abkühlung). Die beiden Brunnen stellen das Thermalwasser für einen erweiterten Betrieb des Thermalbads Brigerbad sicher.
- Entgegen den ersten Erwartungen, die von ähnlichen geothermischen Verhältnissen wie in Lavey-les-Bains ausgingen, hat sich das Temperaturgefälle der geförderten Wässer als etwas weniger günstig erwiesen. Zwar betragen die Temperaturen des Felses in 500 m Tiefe rund 60°C, doch gehen die Ergiebigkeiten im tieferen Untergrund unterhalb der Entlastungsbruchzone stark zurück. Die Packerversuche in der Bohrung 10-BR2 waren sehr wertvoll, um die Zuflussraten aus den unterschiedlichen Tiefen besser zu erfassen.
- Die Temperaturen der Tiefenwässer nehmen in Richtung der Kontaktzone zwischen Kristallinmassiv und Sedimentdecken zu. Es ist davon auszugehen, dass die Thermalwasserzirkulation aus der Tiefe vor allem im kristallinen Kluft- und Schieferungsnetz nahe der Kontaktzone erfolgt.
- Die hydrochemischen und radiochemischen Daten der Wasseranalysen liefern wichtige Hinweise zu den vorhandenen Thermalpolen und die Fliesscharakteristiken des Systems. Neben zwei Tiefenwasserkomponenten lassen sich eine subthermale Wasserkomponente und die kalten Wässer der Alluvialebene nachweisen. Die Mischungsverhältnisse werden durch die Strukturen bestimmt und haben somit lokalen Charakter.
- Die Talflanke zwischen Brig und Visp wird durch viele wärmere Aufstösse charakterisiert, die durch das Monitoring des Talgrundwassers nachweisbar sind. Diese Feststellung legt in Zusammenhang mit den positiven Ergebnissen aus den Bohrungen im Brigerbad nahe, dass die geothermische Nutzung entlang dieser Talflanke von grossem Interesse sein könnte.
- Hinzuweisen bleibt das erhöhte natürliche seismische Risiko der Region, wobei das microseismische Monitoring des Projektes keine Hinweise auf spezielle Erschütterungen durch die Wasserentnahme gibt.

Die Tabelle 5 fasst die wichtigen Ergebnisse der vier, zwischen 2008 und 2010 ausgeführten Bohrungen zusammen.

<b>Bohrung</b>	<b>BB1</b>	<b>BB2</b>	<b>08-BR1</b>	<b>10-BR2</b>
Ausführungszeitraum	Februar 2008	März-April 2008	April-Dezember 2009	Januar-April 2010
Geologie	geklüfteter Gneis (Aarmassiv)	geklüfteter Gneis (Aarmassiv)	geklüfteter Gneis (Aarmassiv)	geklüfteter Gneis (Aarmassiv)
Neigung der Bohrung / Azimuth	30° / 16°N	20° / 70°N	20° / 320°N	vertikal
Tiefe (erbohrte Länge)	164 m	175 m	282.6 m	499.3 m
Bohrung	Spülbohrung	Spülbohrung	in oberen 100 m Spülbohrung, danach Seilkernbohrung	in oberen 100 m Spülbohrung, danach Seilkernbohrung
Verrohrung (max. Durchmesser) und Zementation	PVC 4.5" bis 29m, PVC 3" bis 44 m, zementiert, danach unverbohrt	Stahl 6" bis 92m, PVC 3" bis 95m, zementiert, danach unverbohrt	Stahl 14" bis 90m, Stahl 10" bis 97m, zementiert, danach Filterrohre	Stahl 14" bis 87m, Stahl 10" bis 107m, zementiert, danach Filterrohre
Grundwasserspiegel im ausgerüsteten Brunnen	-1.20 m	-1.30 m	-1.07 m	-0.41 m
Maximale getestete Pumprate bei Erreichen der Endtiefe	10.5 l/s	14.2 l/s	17 l/s	15 l/s
Maximale Absenkung während der Pump tests	2 m	2.6 m	65 m	25 m
Produktionstemperatur (stabilisiertes System)	24°C	30°C	29°C	38°C
Maximaltemperatur im Brunnen	36.5°C	35.5°C	39°C	60°C
Mittlerer Geothermischer Gradient	28°C / 100 m	31°C / 100 m	12°C / 100 m	11°C / 100 m
Chemischer Wassertyp	Ca Na - SO <sub>4</sub> Cl	Ca Na - SO <sub>4</sub> Cl	Ca Na - SO <sub>4</sub> Cl	Ca Na - SO <sub>4</sub> Cl
Stabilisierte Leitfähigkeit à 25°C	0.87 mS/cm	1.1 mS/cm	1.0 mS/cm	2.3 mS/cm
TDS, berechnet	708 mg/l	937 mg/l	702 mg/l	2'173 mg/l

**Tabelle 5:** Zusammenfassung wichtiger Grössen der vier im Brigerbad zwischen 2008 und 2010 durchgeführten Bohrungen

## 6.2 Empfehlungen

Aufgrund der positiven Gesamtbilanz der beiden ersten Untersuchungsphasen empfehlen wir, das Projekt Geothermie Brig-Glis in die definierte Phase 3 zu überführen.

**Empfehlungen Thermalbad:** Dem Thermalbad empfehlen wir, die Monitoring-Programme, die bisher durchgeführt wurden, weiter zu erlauben. Dies trifft in erster Linie für die hydrochemischen, radiochemischen und fluorometrischen Langzeit-Monitoring-Programme für die Quellen und Brunnen des Thermalbads und seiner Umgebung zu, die aus wissenschaftlichen wie praktischen Überlegungen unbedingt weitergeführt werden sollten. Zudem sollte das mikroseismische Monitoring durch den Schweizerischen Erdbebendienst fortgesetzt werden können.

**Empfehlungen Gesamtprojekt Brig-Glis:** Diese Phase 3 entkoppelt das Projekt von den bisherigen Untersuchungen der Phasen 1 und 2, die stark auf den Standort des Thermalbads Brigerbad AG zugeschnitten waren. Auch in dieser Phase 3 empfehlen wir, in klar definierten Planungsschritten weiter zu gehen. Wir empfehlen insbesondere, vor der Durchführung einer ersten Tiefbohrung zwei Grundlagenarbeiten weiter zu führen:

- Nutzungsstudie vertiefen, insbesondere hinsichtlich der elektrischen Konversion von heissen Tiefenwässern und bezüglich der direkten Nutzung der Thermalwässer (Beheizungen, Kaskaden)
- Ausführung einer Schrägbohrung von ca. 800 bis 1000 m Tiefe, welche von der Südseite des Tales die helvetisch/penninischen Decken, die Störungszone und danach das Kristallin erbohrt und das hydraulische Regime der Thermalwässer im Aarkristallin entlang der Hauptüberschiebung besser erfassen soll.
- Nach Auswertung dieser Arbeiten, Planung einer Tiefbohrung von bis zu 2'500 m, Prospektion eines Thermalwassers von  $100^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$  in einem hierfür geeignet scheinenden Reservoir.

Brig / Zürich, 15. März 2013

Marcos Buser  
creato, Projektleiter

Urban Paris  
SRP, Projektleiter

## 7 *Literaturverzeichnis*

- Agepp (2006): Géothermie du cristallin profond de la vallée du Rhône, étude préliminaire, à l'attention de l'Office fédéral de l'énergie, juin 2006
- Alpgeo & Norbert (2008): campagne de forages de reconnaissance 2008, à l'attention de Hans Kalbermatten Thermalbad AG, projet de géothermie profonde à Brig-Glis - Phase 1, Mai 2008
- Baechler Christophe (2007): Plan de situation avec schéma de circulation 1:200, à l'attention de Thermalbad AG Brigerbad, 31.07.2007
- Balderer Werner (2011): Zweiter Bericht zum Status der Thermalquelle Brigerbad aufgrund chemischer und fluorometrischer Untersuchungen, z. Hd. PG Geothermie Brig-Glis, 25. Juli 2011
- BLS Alp Transit AG (1994-1997): Lötschberg – Basislinie, Teilabschnitt Süd, Probebohrungen zur Ermittlung der geologischen Verhältnisse, Bohrberichte oder geologische Kurzberichte Bohrungen Mund (1994), Baltschiedertal (1995), Lidu (1995), Maachi (1996), St. German (1997), Stegentola (1997), Portal Steg (1995), Rarnerchumma (1996)
- Burri M. (1991): Geologischer Atlas der Schweiz, 1:25'000, Geologische Karte Nr.93: Blatt Brig, Geologische Kommission der Schweiz
- CRSFA (1989): Programm Geothermoval, Region Brigerbad-Visp, Zwischenbericht des Centre de Recherches scientifiques fondamentales et appliquées de Sion (CRSFA / 89.36), Interne Publikation
- CRSFA (1991): AlpTransit Lötschberg Leukerbad und Brigerbad. Evaluation de l'impact hydrogéologique du tunnel de base du Lötschberg sur les sources thermales de Leukerbad. Etude hydrogéologique de détail des sources thermales de Leukerbad et de Brigerbad. Phase I. Rapport du Centre de recherches scientifiques fondamentales et appliquées de Sion, CRSFA/91.17, non publié.
- CRSFA (1992): Programme Géothermoval, Brigerbad-Visp, Rapport final Phase I., Fasc. 5., recherche et mise en valeur des ressources géothermiques du Valais, Centre de Recherches scientifiques fondamentales et appliquées de Sion (CRSFA / 92.07), Interne Publikation
- Dolivo Eloi (1982): Nouvelles observations structurales au SW du massif de l'Aar entre Visp et Gampel, Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz 157
- Gainon François (2008): Les isotopes radioactifs de la série de l'uranium-238 (222Rn, 226Ra, 234U et 238U) dans les eaux thermales de Suisse. Thèse Université de Neuchâtel
- GeoExpert (2009): Seismische Erkundung der Untergrundstrukturen, z. Hd. PG Geothermie Brig-Glis, 13. Februar 2009
- Geologengruppe Lötschberg-Basistunnel p.A. Kellerhals + Haefeli AG: (2007): BLS Alp Transit Lötschberg Schlussdokumentation: Los Nr. 46.43.010, Los Nr. 46.41.010 und Los Nr. 46.32.010
- Gilbert M.J. (2010): Thermalbad Brig, Erkundungsbohrung 08-BR1 für das Geothermie- Projekt Brig-Glis, travail de Bachelor, Institut für Geologie, Universität Bern
- ISSKA (2009) Konstruktion eines 3D-Modells der geologischen Verhältnisse der Region Brigerbad (VS), im Auftrag der PG Geothermie Brig-Glis, 19. März 2009
- Kellerhals&Haefeli (2010a): Thermabohrung Brigerbad, Bohrung 08-BR1, Optische Bohrlochscanner-aufnahmen, Kurzbericht vom 12. Januar 2010
- Kellerhals&Haefeli (2010b): Thermabohrung Brigerbad, Bohrung 10-BR2, Optische Bohrlochscanner-aufnahmen vom 20. April 2010, Kurzbericht, 3. Mai 2010
- Kloos Olivier (2004): Hydrochimie et hydrogéologie des sources thermales de Brigerbad, Travail de dipl. postgrade en hydrogéologie, CHYN, Unine, Neuchâtel
- Mignot Eline (2011): Système hydrothermal de Brigerbad: suivi hydrochimique, hydrogéologie des forages d'exploitation et évolution du modèle conceptuel, Travail de MSc. en hydrogéologie et Géothermie, CHYN, Unine, Neuchâtel
- Norbert & Alpgéo (2008): Campagnes de forage de reconnaissance 2008, février - avril 2008, à l'attention de Hans Kalbermatten AG, Brigerbad (VS)
- Norbert SA (2009): Rapport géologique et hydrogéologique intermédiaire, forage 09-BR1, 5096-R1002, version provisoire du 01.07.2009

- Norbert SA (2010): Géothermie Brigerbad - Phase II, Dossier géologique et hydrogéologique, rapport et 6 annexes, à l'attention de PG Geothermie Brig-Glis, 30 juin 2010 / 7 février 2011
- PG Geothermie Brig-Glis (2008): Thermalbad Brigerbad und Geothermieprojekt Brig-Glis: Abschlussbericht Phase 1 und weiteres Vorgehen Phase 2, zuhanden Thermalbad Brigerbad AG, Bundesamt für Energie, Stadtgemeinde Brig-Glis, Elektrizitätswerk Brig-Naters EWB, Forces Motrices Valaisannes FMV
- PG Geothermie Brig-Glis (2009a): 3. Zwischenbericht, zuhanden Hans Kalbermatten Thermalbad AG; 25.03.2009
- PG Geothermie Brig-Glis (2009b): Thermalbad Brigerbad und Geothermieprojekt Brig-Glis: Geothermiebohrungen Brig-Glis 2A : Synthèse der strukturanalytischen und hydrogeologischen Kenntnisse, zuhanden Thermalbad Brigerbad AG, Bundesamt für Energie, Stadtgemeinde Brig-Glis, Elektrizitätswerk Brig-Naters EWB, Forces Motrices Valaisannes FMV, 24. März 2009
- PG Geothermie Brig-Glis (2009c): Geothermie-Bohrungen Brigerbad, Informationskonzept und Information im Krisenfall, zuhanden Thermalbad Brigerbad AG, Bundesamt für Energie, Stadtgemeinde Brig-Glis, Elektrizitätswerk Brig-Naters EWB, Forces Motrices Valaisannes FMV, 20. November 2009
- PG Geothermie Brig-Glis (2010): Zusammenfassender Kurzbericht über die Bohrungen 08-BR1 und 10-BR2, 5. Juli 2010
- PG Geothermie Brig-Glis (2011): Geothermie-Bohrungen Brig-Glis, Zusammenfassung Schlussbericht Phase 2, z. Hd. Geothermie Brigerbad AG, 4. April 2011
- SED (2011): Seismisches Monitoring, Station Brigerbad (BIBA), Wallis, Schlussbericht des Schweizerischen Erdbebenndienstes (SED) für die Brigerbad Geothermie AG, Juni 2011
- Solexperts (2010a): Geothermieprojekt Brigerbad, Geohydraulische Versuche in der Bohrung 10-BR2, z. Hd. PG Geothermie Brig-Glis, 17. Mai 2010
- Solexperts (2010b): Geothermieprojekt Brigerbad, Pumpversuche in den Bohrungen BR-1 und BR-2, Offerte Nr. 8744 und Technischer Beschrieb, z. Hd. PG Geothermie Brig-Glis, 04. Oktober 2010
- Sonney Romain et Vuataz François-D. (2008): Etude géochimique complémentaire sur les eaux thermales de Brigerbad (Valais), Rapport Etape 1, CREGE 12-08/01, Neuchâtel, à l'attention de PG Geothermie Brig-Glis
- Sonney Romain et Vuataz François-D. (2010): Suivi des fluides du forage 08-BR1 et étude géochimique complémentaire des eaux thermales de Brigerbad (Valais), Rapport Etape 2, Laboratoire Suisse de Géothermie - CREGE, Université de Neuchâtel, non publié.
- Steck Albrecht (1968): Die alpidischen Strukturen in den zentralen Aaregraniten des westlichen Aaremassivs, Eclog. geol. Helv. 61
- Steck Albrecht (1984): Structures de déformations tertiaires dans les alpes centrales (transversale Aar-Simplon-Ossola), Eclogae geol. Helv., Vol. 1977., no. 1
- Surbeck Heinz (2008): schriftliche Mitteilung zuhanden PG Geothermie Brig-Glis, Nucfilm GmbH, 4. April 2008
- Surbeck Heinz (2009a): schriftliche Mitteilung zuhanden PG Geothermie Brig-Glis, Nucfilm GmbH, 21. März 2009
- Surbeck Heinz / Nucfilm (2009): Brigerbad, Radioaktivitäts-Messungen 2009, Nucfilm GmbH, 14.12.2009
- Surbeck Heinz (2010): Bericht zu den Radionuklidanalysen der Wasserproben aus dem Brigerbad, Nucfilm GmbH, 21.06.2010
- Terratec Geophysical Services (2010): Bohrungserkennung 08-Br1 und 10-BR2, z.Hd. PG Geothermie Brig-Glis
- Vuataz François-D., Sonney Romain et Giroud Niels (2011): Suivi des fluides du forage 10-BR2 et étude géochimique du réservoir géothermique de Brigerbad (Valais), Rapport Etape 3, Laboratoire de Géothermie - CREGE, à l'attention de PG Geothermie Brig-Glis, février 2011
- Vuataz François-D. (1982): Hydrogéologie, géochimie et géothermie des eaux thermales de Suisse et des régions alpines limitrophes, Matériaux pour la géologie de la Suisse, Hydrologie, No. 29, 58 figures et 50 tableaux