

Schlussbericht 2003

DEEP HEAT MINING

***Entwicklung der Hot-Dry-Rock / Hot-Wet-Rock Technologie
zur Strom- und Wärmeproduktion in der Schweiz;
insbesondere Deep Heat Mining, Basel***

ausgearbeitet durch

Dr. Markus O. Häring
Dr. Robert J. Hopkirk

Mit Beiträgen von

Jules Wilhelm

Arbeitsgemeinschaft DEEP HEAT MINING
c/o Häring GeoProject
Im untern Tollacher 2
8162 Steinmaur

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Summary - progress and achievements.....	5
Deep Heat Mining Basle	5
Geneva	5
Further sites	5
Publicity	6
Other tasks	6
Résumé – progrès et réalisations.....	7
DHM-Bâle	7
GGP-Genève	7
Autres sites	7
Publicité	8
Autres travaux	8
Zusammenfassung / Erreichte Meilensteine.....	9
Deep Heat Mining Basel	9
Genf	9
Andere Standorte	9
Öffentlichkeitsarbeit	10
Weitere Arbeiten	10
Deep Heat Mining Basel.....	11
Planung DHM Basel / Kleinhüningen	11
Organisation	11
Finanzierung	11
Erfolgskriterien	13
Bewilligungsverfahren	14
Bohrungsplanung	16
Infrastrukturplanung	17
Monitoring Station Otterbach	17
Sondeneinbau	18
Planung Monitoring Netzwerk.....	19
Engineering Arbeiten zur Entwicklung der Pilotanlage	19
Projet DHM / GGP (Géothermie de grande profondeur) de Genève.....	22

Introduction	22
Concept d'exploration	22
Forage d'exploration. Sélection de sites.....	22
Etudes énergétiques	23
Tableau 2 - Variantes de concept.....	24
Andere Standorte	27
Tessin	27
Projektidee:	27
Grobkonzept	27
Zentralmassive	28
Öffentlichkeitsarbeit.....	30
Vorträge / Präsentationen	30
Artikel	30
Elektronische Medien	31
Weitere Arbeiten	32
Kontakte zu andern EGS-Projekten	32
Soultz-sous-forêts (GEIE, Frankreich EU).....	32
Habanero-1 (Geodynamics, Australien).....	32
LaGeo (Shell/Enel, El Salvador).....	33
Lund (Lunds Energi AB, Schweden)	34
Induzierte Seismizität	35
Natürliche Seismizität	36
Bibliographie:	41
Annex: Thermo-economic evaluation of cogeneration options based on geothermal sources	

Figuren:

- Fig. 1 Organigramm Projektgesellschaft
 - Fig. 2 Anlagestandort Kleinhüningen
 - Fig. 3 Temperaturprofil Rhein
 - Fig. 4 Concept de base pour les travaux souterrains à Genève – Coupe en travers schématique
 - Fig. 5 Forages d'exploration et de contrôle. Sites potentiels
 - Fig. 6 Wärmeflusskarte der Schweiz.
 - Fig. 7 Innamincka Dome Wärmeanomalie in Südaustralien (Cooper Basin)
 - Fig. 8 Geothermie-Feld Berlin in El Salvador
-

- Fig 9 Geologische Situation Geothermie-Bohrungen Lund (Südschweden)
- Fig 10 Karte der historischen Erdbeben der Schweiz von 1021 bis 1997.
- Fig 11 Seismische Ereignisse Raum Basel 1975 – 2002
- Fig 12 Erdbebenherde Oberrheingraben 1971 – 1994
- Fig 13 Erdbeben in Baden-Württemberg 1973 – 2002

Tabellen:

- Tab 1 Explorationsrisiken
- Tab 2 Variantes de concept
-

Summary - progress and achievements

Deep Heat Mining Basle

Organisation	A project company for the development and construction of the EGS plant, Geopower Basel AG, has been formed for the Basle project. Financial backing for the exploration phase has been agreed in principal, but the decision still requires to ratification by the main house of the Basel City government.
Project planning	The main tasks for carrying through the environmental impact study needed for obtaining permission to proceed through the exploration phase are well in hand. Detailed planning work has also been started for the first 5'000 m borehole, which is to be drilled on the work area of the city utility, IWB, in Kleinhüningen.
Monitoring	The Otterbach 2 exploration borehole has been prepared for duty as a Monitoring Station and is now cased over its whole length. The seismic measuring cable was delivered late and is to be installed at the end of January 2004. Surface preparations have been made. The container hut and all necessary connections for the wellhead data acquisition equipment are in place.
Energy aspects	A practical study for a hybrid energy conversion system using a gas turbine and with priority given to electrical energy generation is underway. Several possible schemes for cooling a generating plant cycle at the Kleinhüningen site have been formulated.

Geneva

Concept	Conceptual investigations on the best choice of exploration of the underground and on the future microseismic monitoring system have resulted in the selection of drilling an exploratory borehole down to approximately 3'7000 m as the first step to undertake..
Site selection	A site for the first borehole has been chosen adjacent to the waste treatment centre of the local cantonal authorities in the commune of Bernex.
Studies	Energy studies have shown that the district heating system of Geneva's public services utility, SIG, is capable already of absorbing the energy produced by a modest EGS pilot plant. The advantages of using a gas turbine in conjunction with the geothermal heat source have demonstrated interesting possibilities.

Further sites

Ticino	A study of the feasibility of electricity generation from EGS in the Locarno Magadino region has been proposed to the organizations responsible for power generation in the canton of Ticino.
Aare massif	In the Alps also, a region apparently not particularly attractive from the geothermal point of view, some initial studies have indicated that a considerable potential could be available. An investigation in the Haslital valley in the Berner Oberland has been launched.

Publicity

- Presentations Lectures and presentations have been given in a variety of public meetings, scientific congresses, press conferences and interviews for Internet newspages and political committees.
- Publications Articles on the principles of EGS and in particular on the Basle project have appeared in a wide range of technical journals, daily papers and information sheets

Other tasks

- Energy conversion At the Ecole Polytechnique in Lausanne a study to develop a tool for the choice of the best methods for energy conversion from an EGS source with given energy demand patterns and their economic optimization has been successfully started.
- Internat. contacts Active exchanges of ideas are taking place with all those groups worldwide involved in EGS research or in developing pilot EGS systems. In addition close working relationships with the energy industry are being created.
- Seismicity Special attention is being paid to examining the potential risk of induced seismicity. This has led to new work towards setting up a detailed inventory of natural seismicity in the Basle region.
-

Résumé – progrès et réalisations

DHM-Bâle

- Organisation** Une société, Geopower Basel AG, a été créée pour le développement et la construction de la centrale pilote EGS. Le financement de la phase d'exploration est assuré, sous réserve de la ratification par le Grand Conseil du canton de Bâle-ville
- Planification** Les travaux pour l'obtention des autorisations nécessaires de la phase d'exploration, notamment l'étude d'impact sur l'environnement ont débuté. La planification détaillée pour le premier forage de 5'000 m à Kleinhüningen sur le site industriel d'IWB a également commencé.
- Surveillance** Le forage d'exploration Otterbach 2 a été préparé pour servir comme station de surveillance sismique. Il est à présent intégralement tubé. Le câble de transmission des mesures sismiques a été livré avec du retard et ne sera installé qu'en janvier 2004. Les équipements de surface sont prêts. C'est-à-dire une cabine-container et les connexions pour l'acquisition des données.
- Aspects énergétiques** L'étude d'un système de conversion hybride de l'énergie utilisant une turbine à gaz est en cours, avec la priorité donnée à la production d'électricité. Plusieurs schémas de refroidissement de la centrale de production à Kleinhüningen sont évalués.

GGP-Genève

- Concept** Des investigations relatives au concept d'exploration du sous-sol et au système d'observation sismique ont permis de retenir le principe d'un premier forage d'exploration à réaliser à une profondeur d'environ 3'700 mètres.
- Sélection d'un site** Un site permettant de recevoir la plateforme du premier forage a été sélectionné à proximité du Centre cantonal de traitement des matériaux, sur le territoire de la commune de Bernex.
- Etudes** Les études énergétiques ont prouvé que le réseau CAD de SIG est capable d'absorber l'énergie thermique produite par la centrale GGP. Ces études ont également démontré l'intérêt de l'alternative d'une centrale à cycle combiné avec une turbine à gaz.

Autres sites

- Tessin** Une étude de faisabilité de production électrique de type EGS dans la région de Locarno-Magadino a été proposée aux producteurs d'électricité du Tessin.
- Massif de l'Aar** Dans les Alpes également, qui ne sont pas a priori attractives sur le plan de la géothermie, une étude préliminaire a montré qu'un potentiel considérable serait disponible. Une investigation a été lancée dans la vallée du Haslital (Oberland bernois).

Publicité

- Présentations Des conférences et des présentations ont été données pour des manifestations publiques variées, des congrès scientifiques, des conférences de presse, des hautes écoles et des cercles politiques.
- Publications Des articles sur le principe de la technique EGS et sur le projet bâlois ont été publiés dans diverses revues et journaux, techniques, des quotidiens et des feuilles d'information.

Autres travaux

- Economie et énergie A l'EPF-Lausanne, une étude a démarré pour sélectionner la meilleure méthode de conversion de l'énergie à partir d'une ressource de type EGS et pour en optimiser les critères économiques.
- Contacts externes Des échanges d'idées et d'information sont en cours avec tous les groupes concernés par la recherche EGS dans le monde, ou développant des installations pilote EGS. De plus, des relations de travail sont engagées avec l'industrie de l'énergie.
- Sismicité Une attention particulière est apportée au risque potentiel de sismicité induite, ce qui a conduit à réaliser un inventaire détaillé de la sismicité naturelle dans la région de Bâle.
-

Zusammenfassung / Erreichte Meilensteine

Deep Heat Mining Basel

Organisation	Für das Projekt in Basel wurde eine Projektgesellschaft für die Entwicklung und Bau einer DHM Pilotanlage gegründet. Die Finanzierung der Explorationsphase ist gesichert, bedarf jedoch noch der Ratifizierung durch den Grossen Rat des Kantons Basel-Stadt.
Projektplanung	Im Bewilligungsverfahren für die Explorationsphase ist mit der Hauptuntersuchung der Umweltverträglichkeitsprüfung begonnen worden. Die Detailplanung für die erste 5'000 m Bohrung im Werkhof Areal der IWB in Kleinhüningen hat begonnen.
Monitoring	Die Sondierbohrung Otterbach wurde als Monitoring Station vorbereitet und bis zur Sohle verrohrt. Das Seismikkabel ist mit Verspätung geliefert worden. Die oberirdischen Anlageteile (Messcontainer) sind installiert. Der Kabeleinbau findet im Januar 2004 statt.
Energieplanung	Bei der Anlageplanung wird eine stromgeführte Variante mit Gasturbine ausgearbeitet. Einige Lösungsvorschläge zur Kühlung der Anlage liegen nun vor.

Genf

Konzept	Untersuchungen um ein geeignetes Explorationsverfahren des unterirdischen Bereichs in der Umgebung zu finden, sowie weitere Überlegungen betreffend der Auslegung des zukünftigen mikro-seismischen Beobachtungssystems haben zur Entscheidung geführt, zuerst ein Explorationsbohrloch bis ca. 3'700 m abzuteufen.
Bohrstandort	Ein entsprechender Standort mit genügend Platz für das Bohren wurde in der Gemeinde Bernex, neben dem kantonalen Abfallbearbeitungszentrum gewählt.
Studien	Es konnte bestätigt werden, dass der Energiebedarf des Fernheiznetzes der SIG (Industriewerke Genf) gross genug ist, um die Energiemengen erwartet von einer EGS-Pilotanlage zu brauchen. Weitere Energie-Studien haben die wirtschaftlichen Vorteile gezeigt, wenn eine geothermische Quelle mit einer Gasturbinenanlage kombiniert wird.

Andere Standorte

Tessin	Den zuständigen Stellen der Stromproduktion im Kanton Tessin wurde eine Machbarkeitsstudie im Gebiet Locarno Magadino vorgeschlagen.
Zentralmassive	Auch im Alpenbereich, der geothermisch nicht sonderlich attraktiv erscheint, deuten erst Studien darauf hin, dass auch dort ein beträchtliches Potential vorhanden sein könnte. Eine Studie im Bereich Haslital ist in Bearbeitung.

Öffentlichkeitsarbeit

- Vorträge Vorträge und Präsentationen wurden in Publikumsveranstaltungen, Fachkongressen, Fachhochschulen, Presse-Veranstaltungen und vor politischen Gremien gehalten.
- Publikationen Artikel über das EGS Prinzip und über das Projekt in Basel im Besonderen erschien in verschiedensten Fachzeitschriften, Tageszeitungen und Publikums-Zeitschriften.

Weitere Arbeiten

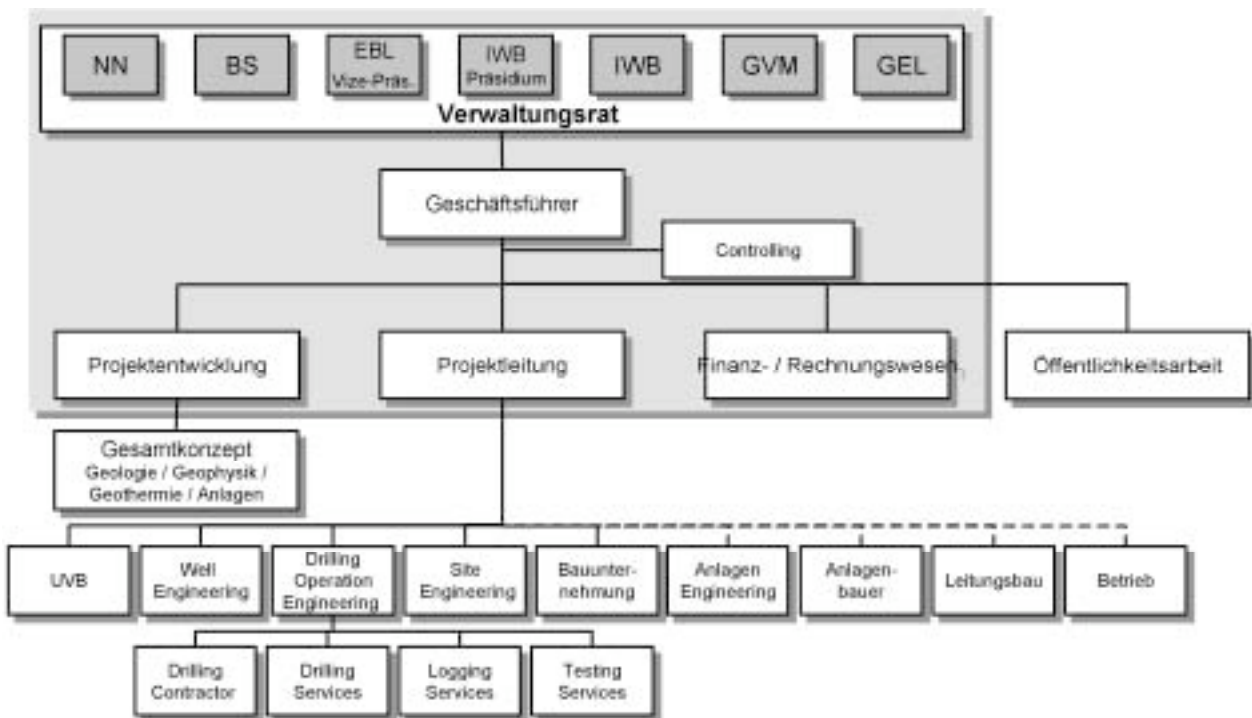
- Internat. Kontakte Mit sämtlichen relevanten Gruppen der EGS-Forschung besteht ein aktiver Informationsaustausch. Zudem werden enge Arbeitskontakte zur Energie-Industrie gepflegt.
- Seismizität Auf die Abklärung potentielle Risiken induzierter Seismizität wird ein spezielles Gewicht gelegt. Mit der Inventarisierung der natürlichen Seismizität im Raum Basel wurde begonnen.

Deep Heat Mining Basel

Planung DHM Basel / Kleinhüningen

Organisation

Projektgesellschaft Die beteiligten Institutionen haben zur Durchführung der Entwicklung eines geothermischen Kraftwerks in Basel die Gründung einer Projektgesellschaft beschlossen. Die wichtigsten Partner sind die Industriellen Werke Basel (IWB), der Kanton Basel-Stadt (BS), die Elektra Baselland (EBL) und der Gasverbund Mittelland (GVM). Diese Institutionen sind im Verwaltungsrat der Gesellschaft paritätisch vertreten.



Figur 1 Organigramm Projektgesellschaft

Pflichtenhefte: Für die gesellschaftsinternen Funktionen wurden Pflichtenhefte verfasst und personelle Besetzungen vorgenommen. Für alle Funktionen und Aufgaben ausserhalb des grauen Bereichs werden von der Projektleitung Pflichtenhefte erstellt. Diese Leistungen werden im Laufe des Projekts mit einem Submissionsverfahren vergeben. Die Gesellschaft hat die Arbeit bereits aufgenommen, auch wenn die formelle Gründung bis zur Ratifizierung des Ratschlages der Basler Regierung durch den Grossen Rat nicht vorgenommen werden kann.

Finanzierung

Gesamtprojekt Für die Realisierung der Pilotanlage ist ein zweistufiges Vorgehen vorgesehen. An erster Stelle steht die Explorationsphase mit einem benötigten Risikokapital von 40 Mio. Franken. Die zweite Phase, die Ausbauphase, mit einem Investitionsvolumen von weiteren 40 Mio. Franken soll weit gehend mit Darlehen fremd finanziert werden.

Explorationsphase Das Risikokapital der Explorationsphase soll folgendermassen beschafft werden: 8 Mio. Förderbeiträge des Kantons Basel-Stadt aus dem Förder-

abgabefonds, 32 Mio. Eigenkapital, wovon maximal 20 Mio. Franken von den IWB zur Verfügung gestellt würde. Zur Reduktion des Risikos sieht der Ratschlag zudem eine Risikogarantie des Bundes für 75% der Explorationskosten bis zu einem eventuellen Abbruch vor.

Mit Schreiben vom 22. Juli hat Bundesrat Leuenberger mit Bedauern mitgeteilt, dass die Eidgenossenschaft nicht in der Lage sei, die erwünschte Risikogarantie zu leisten.

Der Ratschlag wurde am 5. August von der Basler Regierung trotz dem abschlägigen Bescheid aus Bern genehmigt. Alternative Möglichkeiten zur Risikominderung werden jetzt noch auf anderer Ebene gesucht. Bereits gesichert ist der Förderbeitrag von 8 Mio. aus der Basel-städtischen Förderabgabe. Der Ratschlag wird noch den Gang durch die Kommissionen machen müssen, um schliesslich vom Grossen Rat genehmigt zu werden. In den vorberatenden Kommissionen ist dem Ratschlag keine Opposition erwachsen. Von den Parteien und den Wirtschaftsverbänden wird der Ratschlag unterstützt. Die endgültige Genehmigung des Grossen Rates dürfte spätestens im ersten Quartal 04 vorliegen.

- | | |
|--------------------|--|
| EBL, GVM | Im Juni hat die Energieversorgungs-Genossenschaft Elektra Baselland (EBL) beschlossen sich mit 6.4 Mio., resp. 20% an der zu gründenden Projektgesellschaft zu beteiligen. Im August hat zudem der Gasverbund Mittelland (GVM) beschlossen sich mit 3.2 Mio., resp. 10% an der Projektgesellschaft zu beteiligen. Dies unter der Voraussetzung, dass bei einer Realisierung der Pilotanlage eine Hybrid-Anlage mit Gasturbine erstellt wird. Mit diesem Konzept kann die Energieproduktion substantiell gesteigert werden, der geothermische Anteil bleibt jedoch CO ₂ - frei. Somit kann die geothermische Quelle besser genutzt werden. |
| Kanton Baselland | Schliesslich beabsichtigte der Kanton Baselland eine Beteiligung von 3.2 Mio. resp. 10%. Dies wurde von Regierungsrätin Elsbeth Schneider anlässlich der EBL Informationsveranstaltung vom 18. Juni in Aussicht gestellt. An seiner Sitzung vom 18. Nov. hat der Gesamtregierungsrat jedoch eine Beteiligung als Sparmassnahme abgelehnt. Gegen diesen Entscheid liegt jedoch massiver politischer Widerstand vor, so dass das letzte Wort noch nicht gesprochen ist. Eine entsprechende Motion der Landratsmehrheit wird im Januar behandelt. |
| Weitere Investoren | Zurzeit laufen Gespräche mit weiteren potentiellen Investoren, nicht nur für einen Ersatz der basellandschaftlichen Beteiligung, sondern auch zur zusätzlichen Sicherung des Vorhabens. |
| Ausbauphase | Mit Abschluss der Explorationsphase liegt im Erfolgsfalle eine erschlossene kapitalisierbare Energiequelle vor. Mit dieser Sicherheit lassen sich die restlichen Investitionen fremdfinanzieren. Eine Kapitalerhöhung ist vorerst nicht vorgesehen. |
| Laufende Arbeiten | Bis zur Verabschiedung des noch hängigen politischen Beschlusses haben die Vertreter aller Beteiligten in vorberatenden Sitzungen gemeinsam beschlossen die Detailplanung, das Bewilligungsverfahren und das begleitende Umweltverträglichkeitsverfahren auszulösen. Unter Berücksichtigung der politischen und des Bewilligungsverfahrens sowie der Planungsarbeiten erscheint nun ein Bohrbeginn für die erste 5'000 m Bohrung in Kleinhüningen in der zweiten Jahreshälfte 2004 realistisch. Damit das |

Plangenehmigungsverfahren ohne Verzögerung aufgenommen werden kann, schiessen diejenigen Institutionen welche ihre Beiträge bereits gesprochen haben die notwendigen Mittel bis zur Ratifizierung des Grossen Rates vor.

Erfolgskriterien

Risikogarantie Zur Entwicklung der Pilotanlage ist ein schrittweises Vorgehen vorgesehen. Mit jedem Explorationsschritt muss ein bestimmter Meilenstein erreicht werden um den nächsten Schritt des Projekts auszulösen, im Falle des nicht Erreichens nach Alternativen zu suchen oder im schlimmsten Falle, das Projekt abubrechen. Dazu braucht es klar gesetzte Ziele für jeden Meilenstein. Dies ist besonders dann wichtig, falls erzielte Resultate über die Art der weiteren Finanzierung, insbesondere durch Risikogarantien zum Tragen kommen sollten. Nach den neusten Entwicklungen scheint eine Finanzierung ohne Risikogarantien Dritter, insbesondere des Bundes, möglich. Die Ziele der einzelnen Meilensteine bleiben jedoch dieselben. Die Erfolgskriterien wurden als Bestandteil des Gesuchs um eine Risikogarantie im April 2003 beim Bundesamt für Energie eingereicht.

Risiken die Zielvorgaben nicht zu erreichen

	Ziel	Risiko	Eintretenswahrscheinlichkeit	Kumulierte Kosten bis zur Beantwortung. (in Mio CHF)
1.	Temperaturnachweis 200°	Zu geringer Temperaturgradient	Nach Erfolg der Sondierbohrung gering.	14 = 14
2.	Injektionsnachweis Tiefbohrung 1	Minimale Hauptspannung des Wirtgesteins zu gross	Nach Erkenntnissen aus Sondierbohrung gering.	16 = 16
3.	Reservoirnachweis Tiefbohrung 1	Ungenügende Bildung eines offenen Klufnetzwerkes	Unbekannt, jedoch nach erfolgreichem Test von 2 gering.	16 + 8 = 24
4.	Injektionsnachweis Tiefbohrung 2	Minimale Hauptspannung des Wirtgesteins zu gross	Nach Erkenntnissen aus Tiefbohrung 1 sehr gering.	16 + 8 + 12 = 36
5.	Reservoirnachweis Tiefbohrung 2	Ungenügende Bildung eines offenen Klufnetzwerkes	Unbekannt, jedoch nach erfolgreichem Test von 3 gering.	16 + 8 + 13 = 37
6.	Zirkulationsnachweis	a) Hohe Druckimpedanz = ungenügendes Klufnetzwerk b) Zu geringe Druckimpedanz = Kurzschluss	a) und b) unbekannt, jedoch nach erfolgreichem Test von 3 gering.	16 + 8 + 16 = 40

Tabelle 1 Explorationsrisiken

Risikominderung (risk mitigation)

1. Schrittweises Vorgehen wie oben dargestellt. Dadurch wird das Risiko eines Maximalverlustes substantiell verringert.
2. Alternative Verwendung unergiebigere oder missglückter Bohrungen:
 - a. Wärmeabgabe ohne Stromerzeugung und / oder Nutzung in Kombination mit anderen Wärmequellen.
 - b. Erschliessung durchbohrter Thermalwasserhorizonte wie zB. der Obere Muschelkalk (System Riehen)
 - c. Ausrüstung mit Wärmetauscher (tiefe Erdwärmesonde)
 - d. Nutzung als geophysikalische Messstation.

Bewilligungsverfahren

Umweltverträglichkeitsprüfung

UVP-Pflicht Energieanlagen mit einer Leistung über 5 MW sind UVP-pflichtig. In Vorgesprächen mit dem Amt für Umwelt und Energie des Kanton Basel-stadt zeigte sich die Behörde einverstanden ein zweistufiges Verfahren durchzuführen. Dies entspricht dem logischen Vorgehen in der Entwicklung der Pilotanlage. Diese soll in zwei Phasen erfolgen:

- a) In einer Explorationsphase in welcher die geothermische Ressource angebohrt, untersucht und erschlossen wird, und
- b) In einer Ausbauphase, in welcher der unterirdische Wärmetauscher sukzessiv weiter ausgebaut und getestet wird und dann schliesslich die oberirdischen Energieumwandlungsanlagen, sowie Anschlüsse an das Fernwärme- respektive Elektrizitätsnetz gebaut werden.

Es wird nicht möglich sein umweltrelevante Aspekte des oberirdischen Kraftwerkbaus schlüssig abzuklären, bevor die Rahmenbedingungen der geothermischen Quelle nicht bekannt sind. Förderraten, Temperatur, Druck, Druckimpedanz und Chemismus werden die Gestaltung des Anlagenkonzepts entscheidend mitbestimmen.

2-stufiges Verfahren Dies macht eine Abstufung des Prüfungsverfahrens notwendig. Es wird sich somit ebenfalls in zwei Phasen gliedern:

Stufe 1: für die Explorationsphase, in welcher die umweltrelevanten Auswirkungen der Bau- resp. Bohrphase behandelt werden sollen.

Stufe 2: für die Betriebs- und Abbruchphase, in welcher alle umweltrelevanten Auswirkungen dieses Teils des Lebenszyklus des geothermischen Heiz-Kraftwerks abgeklärt werden.

Das stufenweise Vorgehen zum UVP-Verfahren wurde mit dem kantonalen Amt für Umwelt und Energie (AUE) abgestimmt. In der Folge konnte ein neues Pflichtenheft mit einigen erwünschten Zusätzen verabschiedet werden. Als umweltrelevante Aspekte gehen aus der Voruntersuchung für die Bauphase folgende untersuchungswürdige Aspekte hervor:

- a) Lärm während der Bohrphase und
-

- b) Induzierte Seismizität durch hydraulische Injektionen in den geothermischen Wärmetauscher während der Explorations- und der Ausbauphasen.

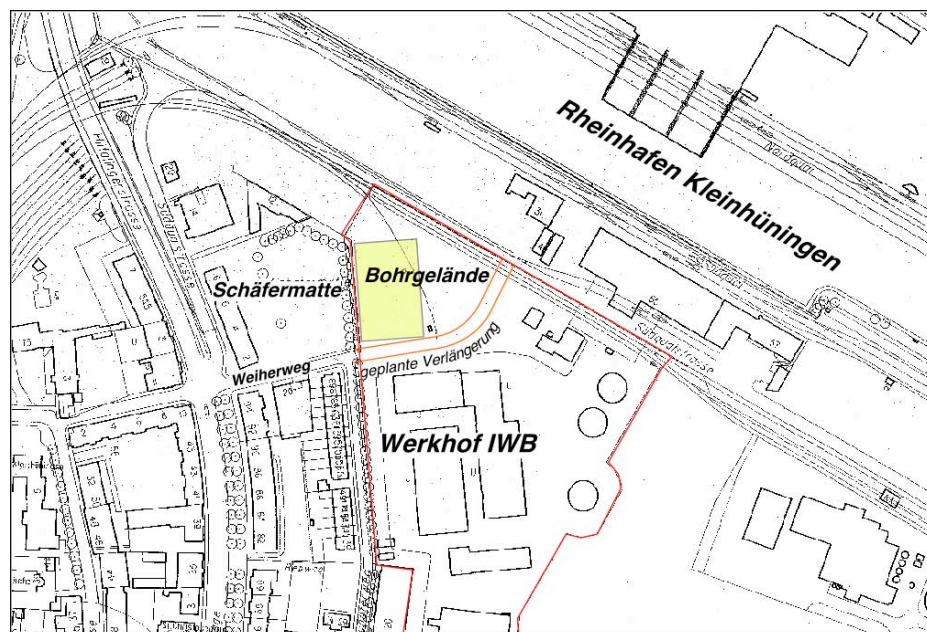
Zur ausreichenden Verminderung der erwarteten Lärmbelastung sind bauliche Massnahmen erforderlich. Zur induzierten Seismizität gilt es Erfahrungswerte aus möglichst vergleichbaren Situationen aufzuzeigen und es gilt ein geeignetes Beobachtungsnetz zu betreiben.

Für die erste Bauphase, d.h. für die Tiefbohrungen im Rahmen der Explorationsphase braucht es keine eigentliche Baubewilligung im Sinne einer zu erstellenden Immobilie. Dies ist die Erkenntnis aus dem Bewilligungsverfahren für die Sondierbohrung Otterbach. Entscheidend waren dort – und werden auch im vorliegenden Falle – die Einhaltung sämtlicher Grundwasser- und Gewässerschutz-relevanten Auflagen sein.

Eine Stellungnahme des AUE zum Entwurf des Pflichtenheftes erfolgte am 23. September. Darin hält das AUE summarisch fest, dass in der Hauptuntersuchung folgende Umweltbereiche zu untersuchen sind: Abwasser und Abfall, Luft, Lärm, Seismizität.

Die Kontrollstelle für Chemie- und Biosicherheit (KCB) weist darauf hin, dass dem Fragenkomplex der induzierten Seismizität in einem Gebiet mit vielen Chemieanlagen, die als potentielle Gefahrenquellen registriert sind, eine grosse Aufmerksamkeit geschenkt werden muss.

Für die Explorationsphase verlangt die KCB keinen Kurzbericht der Störfallverordnung. Hingegen wird dies für die anschliessende Bau- und Betriebsphase verlangt, falls die Kraftwerksanlagen unter den Geltungsbereich der Störfallverordnung fallen. In diesem Falle ist mit der Hauptuntersuchung ein Kurzbericht gemäss Art 5 der Störfallverordnung einzureichen.



Figur 3: Anlagestandort Kleinmünchen

Bohrungsplanung

Das Bohrgelände in Kleinhüningen bietet genügend Platz für ein 400 Tonnen Bohrgerät. Das Gelände ist vollständig asphaltiert und wird bereits jetzt über einen grossen Schlamm- und Ölabscheider entwässert. Es bleibt abzuklären, ob diese Entwässerung bereits den Anforderungen genügt, oder ob diese noch verstärkt werden muss. Die notwendige Infrastruktur zum Betrieb eines Bohrgerätes ist vorhanden. So wird zum Beispiel als lärmdämpfende Massnahme eine elektrisch betriebene Bohranlage vorausgesetzt. Dies bedarf einer elektrischen Anschlussleistung von rund 3.2 MWe. Eine solche Anschlussmöglichkeit ist auf dem Gelände vorhanden. Negativ für die Bohrarbeiten wirkt sich die Nähe bewohnter Gebäude aus. Der Bohrlärm an sich wäre kein Problem würde er sich auf die normalen Arbeitszeiten beschränken. Da die Bohrarbeiten rund um die Uhr und auch sieben Tage die Woche ununterbrochen laufen, sind zum Lärmschutz besondere Massnahmen zu treffen. Eine machbare Lösung zeichnet sich mit dem Bau von Schallschutzwänden ab.

„Scope of well“

Die erste Tiefbohrung hat mehrere Ziele zu erreichen und muss in der späteren Nutzung Aufgaben erfüllen, die zum jetzigen Zeitpunkt gar noch nicht bestimmt werden können. Ob die Bohrung dereinst als Produktionsbohrung oder Injektionsbohrung genutzt werden soll, darf beim jetzigen Wissensstand gar noch nicht vorweg genommen werden. Deshalb muss die Bohrung – und insbesondere das Verrohrungsschema – so geplant werden, dass die Bohrung für beide Zwecke verwendet werden kann. Dies hat einen entscheidenden Einfluss auf den Bohrlochdurchmesser. Es ist davon auszugehen, dass in einer Produktionsbohrung eine Fördermöglichkeit für einen Volumstrom von 50 – 75 l/s mit einer Förderhöhe von 500 m bestehen muss. Aus diesem Grund ist bis in eine Tiefe von rund 500 m eine Pumpenkammer zu planen, welche den Einbau einer Pumpe mit einer solchen Leistung erlaubt. Für eine Injektionsbohrung sind die Durchmesser so zu wählen, dass auch bei der tiefsten Verrohrung bei einem Volumenstrom von 100 l/s keine zu hohen Strömungsverluste auftreten.

Da in der Bohrung vor allem anfänglich sowohl Injektions- wie Produktionstests ausgeführt werden müssen, ist die Verrohrung extremen Temperaturschwankungen in der Grössenordnung von 150°C ausgesetzt. Dies setzt eine spezielle Verankerung (Zementation) der Verrohrung voraus, welche Dehnungen und Schrumpfungen der Rohre vor allem in der Länge erlauben, ohne dass es zum Kollaps oder Bersten der Rohre kommt. Hier sind vor allem Erfahrungen aus Bohrungen konventioneller geothermischer Kraftwerke und anderer EGS Projekte zu nutzen.

Die unmittelbaren Ziele die mit der ersten 5'000 m Bohrung in Basel erreicht werden müssen, sind folgende:

- Nachweis einer Temperatur von 200°C.
- Nachweis eines Wirtgesteins, das mit hydraulischen Frac-Techniken unter Anwendung technisch vertretbarer Drücke stimuliert werden kann.
- Nachweis eines Spannungsfelds, das Hinweise auf die Orientierung eines stimulierten Wärmereservoirs zulässt.

- Nachweis einer wesentlich erhöhten Injizierbarkeit des stimulierten Wirtgesteins, die voraussichtlich eine Zirkulation von 100 l/s ermöglichen würde.

Der letzte Punkt wird sicher nicht schon beim Erreichen der Zieltiefe zu beantworten sein. Diese Fragen können erst mit der Durchführung von Injektionstests geklärt werden. Injektionstests setzen ein seismisches Monitoring Netz voraus, das zurzeit noch nicht besteht. Wenn die ersten beiden Ziele der Tiefbohrung positiv beantwortet sind, wird eine zweite Horchbohrung niedergebracht. Deren Standort dürfte im Quartier St. Johann im Bereich des Schlachthofareals zu liegen kommen. Standortentscheide werden erst im kommenden Jahr gefällt.

Infrastrukturplanung

Kleinhüningen wurde nicht nur aufgrund der günstigen Voraussetzungen zur Platzierung von Bohranlagen gewählt, sondern weil sich auf diesem Gelände eine gute Integration in die Energieversorgung von Basel realisieren lässt. Besonders in Hinblick des Baus einer Hybrid-Anlage (Gasturbine) und Einbezug von Wärme aus der nahe gelegenen Klärschlamm-Verbrennungsanlage ergeben sich auf dem Gelände interessante Synergien.

Auf dem Gelände befand sich früher das Stadtgaswerk. Der Boden ist gebietsweise mit chemischen Rückständen aus dem Gasgewinnungsprozess belastet. Die am stärksten kontaminierten Stellen sind saniert worden. Bis in die siebziger Jahre wurden unter der angrenzenden Schäfermatte grosse Pflichtlager für Heizöl und Benzin gehalten. Ein schleichendes Leck in einer Zufuhrleitung führte in den Jahren 71-72 zu einer grossräumigen Verschmutzung der Grundwasseroberfläche mit Leichtbenzin. Mit zahlreichen Sanierungsbrunnen in unmittelbarer Nähe des Bohrgeländes wurde auch diese Verschmutzung weitgehend saniert. Von Vorteil ist nun, dass das gesamte Gelände seither asphaltiert ist und über ein Entwässerungssystem mit Schlamm- und Ölabscheider verfügt. Ob diese Anlagen den Anforderungen für eine Bohrplatzentwässerung vollauf genügen ist noch nicht gesichert, auf jeden Fall werden Teile dieser Infrastruktur genutzt werden können.

Zur Verminderung der Lärmbelastung wird von den Behörden ein voll-elektrischer Bohrbetrieb vorausgesetzt. Auf dem Werkhof ist eine Anschlussleistung von 3.2 MWe verfügbar. Dies genügt für den Betrieb einer 400 Tonnen Bohranlage.

Das Bohrgelände ist gross genug für die Installation einer grossen Bohranlage, erlaubt allerdings nicht den Bau irgendwelcher offener Absetz- oder Spülungsbecken im Boden. Auf dem Gelände werden alle Flüssigkeiten in oberirdischen Tanks zu lagern sein.

Monitoring Station Otterbach

Messkonzept

Das Bohrloch Otterbach 2 wird zwei Zwecke erfüllen. Erstens werden die eingebauten Instrumente ein Teil eines neuen Messnetzes des Schweizerischen Erdbebendienstes zur besseren Ortung und genauen Analyse natürlicher seismischer Ereignisse in der aktiven Region Basel bilden. Weiter-

hin müssen die Instrumente die Bedürfnisse des Projekts zur Registrierung mikroseismischer (akustischer) Ereignisse bei der Entwicklung des unterirdischen Wärmetauschers gerecht werden.

Installationsdesign Für eine langfristige Nutzung mit der Möglichkeit, den Unterhalt der Instrumente durchzuführen, ist eine Platzierung im offenen Bohrloch problematisch. Für eine langjährige gesicherte Befahrung des Bohrloches drängte sich eine Verrohrung des Bohrloches bis zur Sohle auf. Dadurch wird eine gewisse Dämpfung der seismischen Signale in Kauf genommen. Allerdings gewährt dies eine langfristig gesicherte Befahrbarkeit der Messstrecke.

Da die Aufzeichnung der natürlichen seismischen Aktivität ab sofort erfolgen soll und die Aufzeichnung frac-induzierter akustischer Signale jedoch erst nach der ersten Tiefbohrung auf ca. 5'000 m relevant wird, ist eine zweistufige Installation vorteilhaft: Vorerst wird das 3000 m lange Kabel mit sechs Sensoren über eine Strecke von bloss 50 Metern direkt über der Bohrlochsohle eingehängt und während einiger Wochen getestet. Die Sensoren werden nachher bei Bedarf eingesendet um eine optimale Kupplung mit der Verrohrung resp. der Formation zu gewähren. Wenn sich das Vermeiden lässt ist dem frei hängen den Vorzug zu geben, da es höchst fraglich ist, ob eine eingesandete Sondenstrecke je wieder freigezogen werden kann. Ein Sensorstrang über die Länge von 700 m in Bohrung OT1 wird erst benötigt, wenn induzierte seismische Ereignisse im Reservoirbereich lokalisiert werden müssen. Die Anschlüsse für die Datenübertragung, sowie die Stromversorgung werden aber auch sofort installiert.

Arbeiten vor Ort Im Januar wurde mit einer Workover-Bohranlage der Firma UGS die Bohrung Otterbach 2 befahren und die offene Bohrlochstrecke von 2'031 m bis 2'755 m problemlos nachgebohrt und aufgespült. Danach wurde das untere Teil des Bohrlochs von 2'030 m bis zur Sohle mit einem 4 1/2" Rohr verrohrt. Zur optimalen Kupplung mit der Formation wurde die Verrohrung vollständig einzementiert. Danach erfolgte ein Spülungsaustausch. Die Salz-Tonspülung im Bohrloch wurde mit reinem Wasser ersetzt, was die spätere Korrosion der Instrumente und Kabel substantiell reduzieren wird.

Die Workover Arbeiten haben ca. 4 Wochen in Anspruch genommen.

Stand der Arbeiten Die Lieferung des Messkabels mit seiner Kette von eingekapselten Sensoren sowie der Stromversorgung und Daten erfolgte mit einer Lieferverzögerung von 8 Monaten erst im November. Die Sonde hätte eigentlich noch gut vor Ende Jahr eingebaut werden können. Allerdings wurde aus folgenden Gründen darauf verzichtet: Die Garantie des Seismikkabels ist auf 90 Tage beschränkt. Die Garantiefrist beginnt mit dem Einbau der Sonde. Es ist die Absicht ab Einbau der Sonde diese über die gesamte Garantiezeit auf Herz und Nieren zu prüfen und zu überwachen. Dies wäre über die Festtagpause jedoch nur schwierig zu erreichen.

Im November wurde der Messcontainer auf dem Bohrgelände installiert und angeschlossen. Die Rohrleitungen von den Bohrkellern der Bohrungen OT 2 und OT1 bis zum Messcontainer sind gebaut.

Sondeneinbau

Der Einbau soll nun im Januar erfolgen. Die Zeit ist genutzt worden, das von ABB vorgeschlagene Einbauverfahren wesentlich zu verbessern. Der Einbau soll nun nicht mit einem schrittweisen Einlassen des Kabels an Klammern erfolgen, sondern über eine elektrische Kabelwinde und einen Autokran. Dies ermöglicht einen wesentlich schnelleren und sichereren Einbau. Das Kabel braucht nicht alle 10 Meter von Halteklammer zu Halteklammer umgehängt zu werden, was das Kabel schont. Ausserdem kann mit einer Lastzelle am Kran das Gewicht während des Einfahrens kontrolliert werden, um ein allfälliges Aufstehen der Sonde z.B. beim Liner Hanger zu bemerken. Als weitere Kontrolle kann mit einem Deptometer die genaue Tiefe der Sondenspitze während der Einfahrt gemessen werden.

Planung Monitoring Netzwerk

Von Seiten des Schweizerischen Erdbebendienstes ist ein Netz untiefer Seismikstationen im gesamten Kantonsgebiet geplant. Vorgesehen sind rund 6 Bohrungen bis ins Festgestein mit einer Tiefe von rund 100 m. Der SED wird ebenfalls in der Bohrung OT1 bis auf eine Tiefe von 600 m eine Messsonde einbauen. Es ist von grossem Interesse wie weit ein solches Messnetz bereits im Stande ist mikroseismische Ereignisse der Stimulationen zu erfassen und zu lokalisieren. Vergleichbare Erfahrungen fehlen. Die Resultate aus den Oberflächenstationen in Soultz waren diesbezüglich enttäuschend. Erstens registrierten diese nur die stärksten Ereignisse, welche von den Sonden in den Bohrungen bereits nicht mehr aufgezeichnet wurden, da die Geräte bei solch starken Signalen übersteuerten. Eine direkte Korrelation der Daten der Bohrlochsonden und der Oberflächenstationen ist deshalb nicht möglich. Die Oberflächenstationen zeichneten weniger als 1 Prozent der in den Bohrungen registrierten Ereignisse auf. Die Oberflächenstationen befinden sich allerdings direkt an der Oberfläche, also auf dem Lockergestein, welches jedes seismische Signal stark dämpft und verändert. Das Konzept der Seismikstationen in untiefen Bohrungen könnte hier wesentlich bessere Resultate liefern. Erstens werden damit Störsignale von der Oberfläche (Verkehr) wirksam ausgefiltert und zweitens wird die Dämpfung der Signale im Lockergestein ausgeschaltet. Von Interesse ist dieses Konzept hinsichtlich der Kosten. Die Kosten einer Horchbohrung bis ins Wirtgestein liegen bei 4 Mio. Franken, währenddem eine 100 m Bohrung weniger als 20'000 Franken kostet. Selbst mit einem Netz von bis zu 50 untiefen Bohrungen wären hier sehr grosse Einsparungen möglich. Überdies ergibt sich dadurch eine wünschenswerte Redundanz, die mit tiefen Horchbohrungen nicht gewährleistet ist. Es ist allerdings verfrüht hier eine Alternative zu tiefen Horchbohrungen zu sehen, brauchbare Vergleiche existieren noch keine.

Engineering Arbeiten zur Entwicklung der Pilotanlage

Wärmegeführte
Anlage

Ein Standort in Basel ist das Resultat einer Suche nach einer Abnehmerstruktur, in welcher die Wärme aus einer EGS-Anlage direkt genutzt werden kann. Vor diesem Hintergrund wurden auch die Standorte in Basel beim Voltaplatz und in Kleinhüningen evaluiert. Es war immer die Absicht, die Nutzung einer geothermischen Quelle optimal in ein bestehendes System einzubinden. Dies ist vor allem bei einer Pilotanlage vordringlich, bei welcher wegen der

Entwicklungskosten die Wirtschaftlichkeit noch marginal ist. Am Standort Kleinhüningen hat sich nun ergeben, dass eine Kombination mit einer Gasturbine den Wirkungsgrad der geothermischen Quelle und der Gasturbine auch wärmegeführt substantiell verbessert.

Stromgeführte Anlage

Durch eine politisch erwirkte Änderung der Vergütungsregelung für CO₂-frei produzierten Strom wird sich das Interesse der IWB auf eine stromgeführte Anlage verlagern. Nach gegenwärtiger Regelung müssen die IWB als Hauptabnehmer den geothermisch produzierten Strom mit 15 Rp/kWh vergüten. Die neue Entschädigungsregelung für CO₂-frei produzierten Strom sieht eine Unterstützung der Vergütung durch die Betreiber des Hochspannungsnetzes vor. Damit erhöht sich für die Abnehmer die Attraktivität alternativer Stromproduktionsanlagen. Für die DHM Anlage bedeutet dies, dass nun eine stromgeführte Variante der Pilotanlage erarbeitet werden soll. Im Weiteren wird auf der Fernwärmeseite geprüft, ob das Netz auf der Kleinbasler Seite zukünftig auf einem niedrigeren Temperaturniveau gefahren werden könnte.

Wasserversorgung

Die Wasserversorgung der Bohrungen kann ab lokalen Brunnen auf dem Gelände und bei der nahe gelegenen Kläranlage sichergestellt werden. Durch den Benzinunfall in den 70-er Jahren gibt es auf dem Bohrgelände noch zwei bis ins Grundwasser verrohrte Sanierungsbohrungen, welche unter Umständen zur Wassergewinnung reaktiviert werden können. Die Entsorgung der Spülungen wird wie bei den Bohrung Otterbach einerseits durch lizenzierte Entsorgungsfirmen per Tankwagen besorgt und andererseits wird wieder ein Teil der feststofffreien Spülung über die Kläranlage zu entsorgen sein.

Kühlwasser

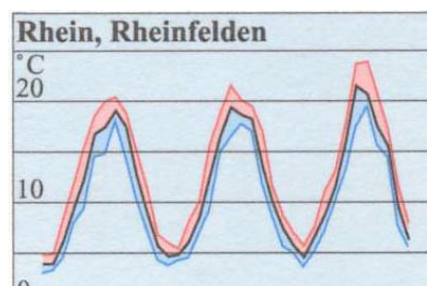
Noch nicht im Detail geklärt ist die Kühlwasserversorgung der Pilotanlage. Problematisch erscheint nicht die Beschaffung der notwendigen Volumina, sondern die Einleitung des aufgewärmten Kühlwassers in den Rhein während der Hochsommertage. In diesem Sommer hat sich gezeigt, dass sich der Rhein bis zu maximal 26°C aufwärmen kann. Vom Gewässerschutz her, darf Kühlwasser zur Einleitung 30°C nicht übersteigen. Dies bedeutet bei einem nutzbaren ΔT von 4°K den Bedarf extrem grosser Kühlwassermengen. Im Falle einer Kühlleistung von 30 MW würde dies einem maximalen Volumenstrom von 1.8 m³/s entsprechen, was für eine Wasserkühlung auf dem Gelände sehr grosse Installationen bedeuten würde. Realistischer erscheint eine Wasserkühlung mit einem ΔT von 34°K (T_{in} 26°C, T_{out} 60°C) was einen Kühlwasserdurchfluss von 210 l/s ergibt. Das erwärmte Kühlwasser von 60° könnte in einer Vormischkammer des Hafenbeckens II so eingeleitet werden, dass die Wassertemperatur des Hafenbeckens 30°C nie übersteigt. Unter diesen extremen Verhältnissen würde das Wasser des Hafenbeckens über einen Zeitraum von 20 Stunden vollständig ausgetauscht und in den Rhein abgeführt. An der Hafeneinfahrt würde das mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 0.05 m/s wahrgenommen.

Rheintemperaturen (Village-Neuf):

Jahresmittel (M): 11.4°C

Halbampplitude (A): 7.4°C

Quelle: Hydrologischer Atlas der Schweiz (Landeshydrologie)



Figur 3 Temperaturprofil des Rheins

Unter normalen Verhältnissen (Rheinwassertemp. 11.4°C) ist bei einer 30 MW Kühlleistung ein Kühlwasserdurchfluss von 150 l/s (T_{in} 11.4°C; T_{out} 60°C) erforderlich. Mit einer Vormischung auf 390 l/s senkt sich die Temperatur des Abwassers auf 30°C und darf so direkt in den Rhein eingeleitet werden.

Diese vorläufigen Überlegungen sind noch zu vertiefen, um in Zusammenarbeit mit dem Amt für Umwelt und Energie tragfähige Lösungen zu finden.

Anlageoptimierung Ein wichtiger Fragenkomplex betrifft die Wahl der Energiekonversions- und Bewertungsanlagen. Bei den ersten Anlagen liegen noch zu wenig praktische Erfahrungen vor, um bereits vor Erschliessung des Reservoirs Entscheide über den Anlagentyp zu treffen. Man wird erst nach einem Zirkulationstest über genügend Daten für die endültige Wahl des Anlagentyps verfügen. Es ist deshalb sinnvoll eine Anzahl von Optionen zu erarbeiten, auf die nach Vorliegen der Testresultate zurückgegriffen werden kann. Mit dieser Massnahme sollen Verzögerungen im Bau der Anlagen präventiv vermieden werden.

Zur Erarbeitung von Grundlagen für eine optimierte Energienutzung mit den EGS-typischen variablen Quelltemperaturen im Bereich von 150 – 200 °C und verschiedenen Nutzungsprofilen wurde in 2003 bei der LENI an der ETH Lausanne (Prof. Dr. D. Favrat) eine Studie lanziert. Die Arbeiten sind unter der Leitung von Dr. F. Marechal in enger Zusammenarbeit mit der DHM-Mannschaft noch im Gange. Die komplexe Aufgabe wird schrittweise mittels einer systematischen „mind-map“ definiert, damit die Resultate in Einklang gebracht werden können, d.h. mit den übrigen Aktivitäten und Zielsetzungen des DHM Forschungsprogramms. Die erwartete Dauer dieser Studie wird ca. 3 Jahre dauern (bis Ende 2006).

Projet DHM / GGP (Géothermie de grande profondeur) de Genève

Introduction

L'année 2003 a constitué la deuxième partie de l'Etape 3 du projet GGP de Genève. Cette étape, entamée au cours de la première moitié de 2002, a été consacrée essentiellement à des études conceptuelles dans les domaines énergétiques et des ouvrages souterrains, ainsi qu'à l'identification des sites susceptibles de recevoir une plateforme destinée à l'exécution d'un forage d'exploration du sous-sol.

Le présent rapport annuel du projet DHM contient un résumé des activités du projet GGP Genève durant 2003. La description plus détaillée de ces activités fait l'objet d'un document de synthèse séparé.

Concept d'exploration

Le concept de base des ouvrages souterrains du projet GGP repose sur le principe des trois forages profonds à 6 km, dont un forage de production et deux forages d'injection, et de trois puits d'écoute sismique forés jusqu'au socle cristallin (profondeur environ 3'700 mètres), dont le premier fait office de forage d'exploration (figure 4).

En raison de la profondeur des forages projetés et compte tenu des expériences faites sur les autres projets SGS, une série de variantes a été examinée à la recherche d'un système plus économique. Ces variantes cherchent à remplacer un ou plusieurs des forages verticaux d'écoute à 3'700 mètres soit par un forage dévié, soit par une série de puits d'écoute à faible profondeur. Il a aussi été envisagé de recourir au percement d'un forage de faible diamètre (slim hole), avec l'avantage espéré d'une économie de temps et d'argent (tableau 2).

L'évaluation de ces variantes, effectuée notamment avec l'intervention d'un expert en technique de forages profonds (Geowell GmbH, M. A. Macek), a permis de confirmer la nécessité de réaliser un premier forage d'exploration tel que prévu, mais que l'examen des autres variantes devait se poursuivre, en particulier en ce concerne les nouvelles technologies de perforation.

Forage d'exploration. Sélection de sites

La procédure de sélection du site pouvant recevoir la plateforme d'un forage d'exploration de 3'700 mètres de profondeur s'est achevée en décembre 2003 par une proposition d'implantation à proximité de l'espace cantonale de récupération des matériaux de Châtillon. Le site finalement retenu (12.1 sur la figure 5), se situe sur le territoire de la commune de Bernex, à environ 2.3 km de l'emplacement retenu pour la future centrale.

Le site possède notamment l'avantage de se trouver en dehors du périmètre du plan directeur des gravières, dans une zone éloignée des habitations, où les effets sur l'environnement sont faibles. La parcelle visée, d'une étendue de plus de 2 ha, est propriété de l'Etat, ce qui simplifiera les démarches domaniales.

Les démarches en cours, notamment auprès de la commune de Bernex et auprès des services de l'Etat, devront amener prochainement à une validation de ce choix.

Etudes énergétiques

Ces études avaient pour but de déterminer les conditions d'insertion d'une centrale SGS (Système géothermique stimulé), situé au sud de la presqu'île d'Aire, dans le réseau de chauffage à distance de SIG (Services industriels de Genève), et d'analyser les différentes variantes de conversion envisageables, compte tenu de la typologie de demande de chaleur et d'électricité à moyen-long terme.

En ce qui concerne le premier point, il apparaît que la capacité du réseau CAD de SIG est suffisante pour absorber l'énergie thermique produite par un système géothermique de grande profondeur (figure xx). Une extension du réseau serait néanmoins souhaitable pour optimiser l'utilisation des équipements. Il serait également judicieux de trouver des consommateurs en été, par exemple des centrales de climatisation fonctionnant avec des groupes à absorption.

Quant à la production d'énergies, les alternatives suivantes ont fait l'objet d'un premier examen comparatif :

- Production d'électricité et de chaleur avec turbine à contre-pression ou à condensation
- Production alternative de chaleur et d'électricité
- Cycle combiné avec turbine à gaz
- Production de chaleur seule

Les trois premières catégories sont considérées comme étant les plus prometteuses. Le choix du système interviendra au cours des étapes à venir, avec la prise en compte des données restant à définir, notamment en ce qui concerne les paramètres économiques, les caractéristiques de la source géothermique et la stratégie de développement du ou des réseaux CAD.

Tableau 2 - Variantes de concept

Concept de base (A)	a. 1 forage d'exploration/observation	~ 3'700 m
	b. 2 forages d'observation	~ 3'700 m
	c. 1 forage profond vertical	~ 6'000 m
	d. 2 forages profonds déviés	~ 6'000 m
Concept B	a. 1 forage d'exploration/observation profond, de petit diamètre (slim hole)	~ 6'000 m
	b. 1 forage d'observation dévié	~ 3'000 m
	c. 1 forage profond vertical	~ 6'000 m
	d. 2 forages profonds déviés	~ 6'000 m
Concept C	a. 1 forage d'exploration/observation	~ 3'700 m
	b. 1 forage d'observation dévié	~ 3'000 m
	c. 1 forage profond vertical	~ 6'000 m
	d. 2 forages profonds déviés	~ 6'000 m
Concept D	a. 1 forage d'exploration/observation	~ 3'700 m
	b. 5-10 forages d'observation à faible profondeur (50-100 m)	
	c. 1 forage profond vertical	~ 6'000 m
	d. 2 forages profonds déviés	~ 6'000 m
Concept E	a. 1 forage d'exploration/observation profond, de petit diamètre (slim hole)	~ 6'000 m
	b. 5-10 forages d'observation à faible profondeur (50-100 m)	
	c. 1 forage profond vertical	~ 6'000 m
	d. 2 forages profonds déviés	~ 6'000 m
Concept F	a. 1 forage profond vertical	~ 6'000 m
	b. 5-10 forages d'observation à faible profondeur (50-100 m)	
	c. 2 forages profonds déviés	~ 6'000 m

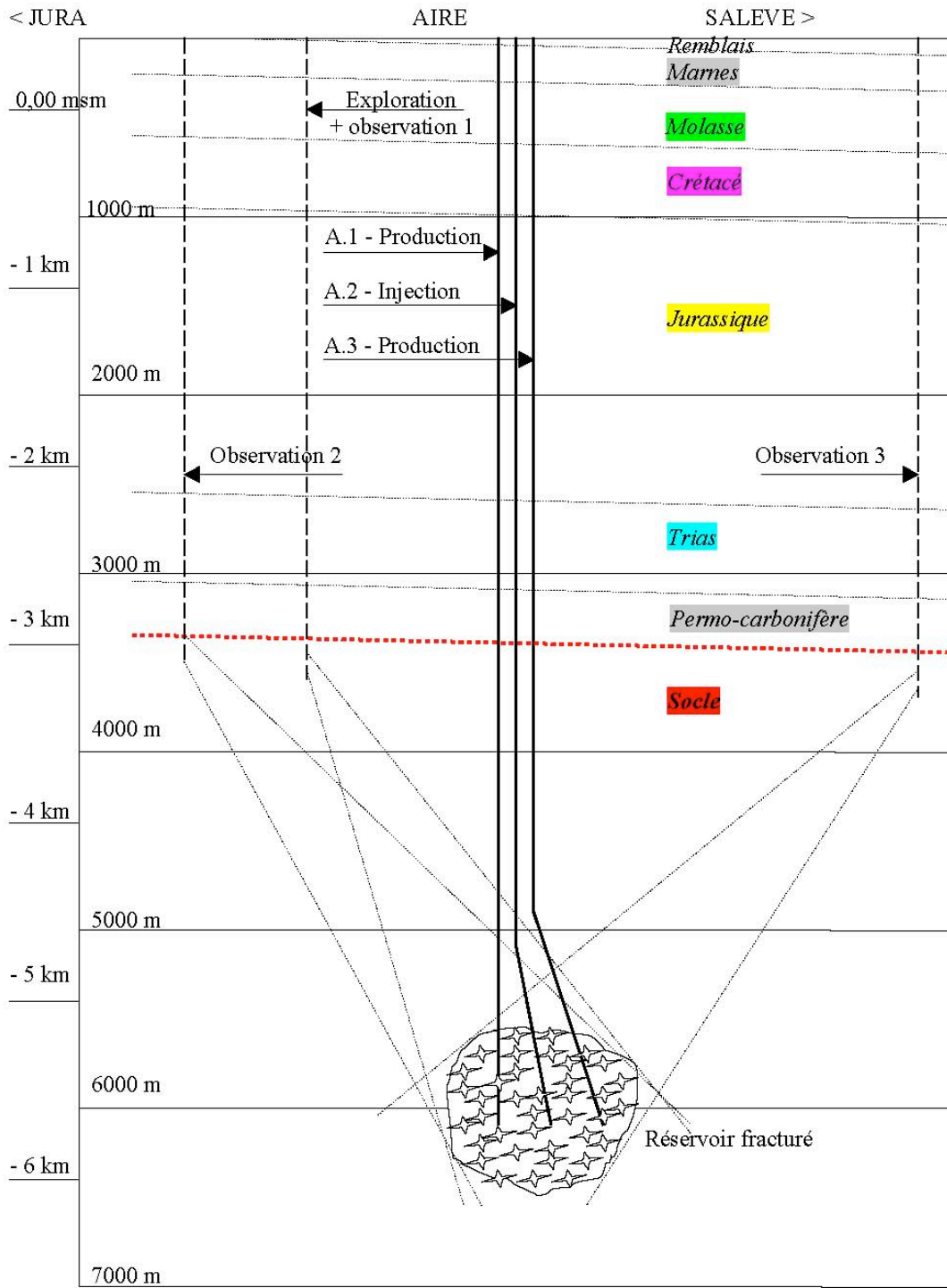


Figure 4: Concept de base pour les travaux souterrains à Genève – Coupe en travers schématique

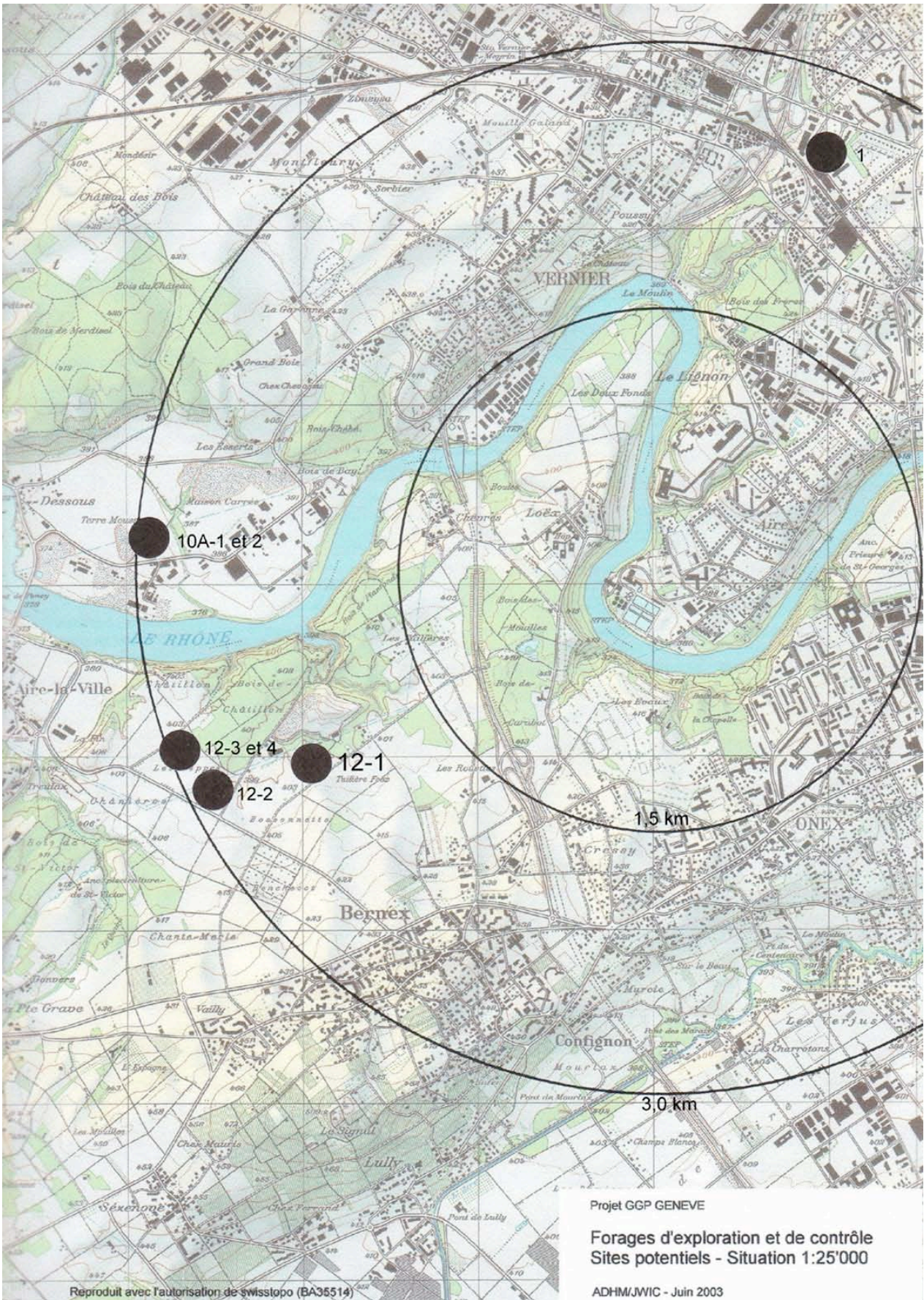


Figure 5: Forages d'exploration et de contrôle. Sites potentiels.

Andere Standorte

Tessin

In Absprache mit Elettività Svizzera Italiana (ESI) wurde im April an Regierungsrat Borradori, in seiner Funktion als Verwaltungsrat der Azienda Elettività Ticinese (AET) ein Vorschlag zu einer Machbarkeitsstudie für ein EGS-Projekt eingereicht. Im Juni fand mit der Geschäftsleitung der AET eine diesbezügliche Besprechung statt. Allerdings kam es bis heute zu keiner Auftragserteilung.

Projektidee:

Insubrische Linie Die Idee ist eine auffallende geologische Struktur, die Insubrische Linie, daraufhin zu prüfen ob sich entlang dieser Zone ein Hot-Fractured-Rock Projekt realisieren liesse. Da diese Zone als einzige Stadt Locarno unterquert, ist es naheliegend ein Projekt in dieser Gegend zu prüfen. Zunächst soll eine Machbarkeitsstudie die Projektidee prüfen. Das vorliegende Papier skizziert den Aufbau einer solchen Studie. Sollten im Laufe der Datenkompilation weitere ähnliche Strukturen im Kanton Tessin erkannt werden, gilt es auch diese einer ersten Prüfung zu unterziehen.

Grobkonzept

Geologische Hypothese

Die sogenannte Insubrische Linie bildet im Tessin eine höchst auffällige Tiefenstruktur. Sie ist eine der sichtbaren Nahtstellen der Kollision der europäischen und afrikanischen Kontinentalplatten. An dieser Stelle kommen Mantelgesteine bis in seichte Positionen; gemäss gravimetrischer Daten bis weniger als 10 km unter die Oberfläche.

Geographisch streicht die Insubrische Linie in West-Ost Richtung parallel zur Talachse des Centovalli, unter dem Maggia Delta hindurch, durch die Magadinoebene und parallel der Talachse des Valle Morobbia hinüber ins Valle San Jorio.

Der N-S Schnitt durch den Unterlauf der Maggia bei Losone zeigt, dass durch die Kompression die tektonischen Einheiten bis in grosse Tiefen (> 5 km) praktisch vertikal stehen.

In dieser Situation sind sehr starke differentielle Gebirgsspannungen zu erwarten ($s_1(N-S) \gg s_2(E-W) > s_3$ (vert.)). Dies würde die Stimulation präexistenter Klüfte begünstigen.

Die bis in seichte Positionen aufgeschobenen Mantelgesteine sind ultrabasische Gesteine und daher arm an wärmeproduzierenden Isotopen, wie ^{40}K , Th und U. Demnach würde sich eine solche Zone nicht durch einen überdurchschnittlichen Temperaturgradienten auszeichnen. Andererseits befinden sich in derselben Zone auch Granite, welche vermutlich eine hohe Wärmeproduktion aufweisen. Zudem stossen entlang der Insubrischen Zone bereits im Valle Marrobio die jüngsten granitischen Intrusiva der Schweiz, der Bergellergranit, an die Oberfläche.

Entlang der Insubrischen Linie sind keine Tiefbohrungen bekannt. Angaben über das Temperaturfeld oder die hydraulischen Verhältnisse in die Tiefe der Insubrischen Linie sind nicht bekannt.

Unter diesen Voraussetzungen kann davon ausgegangen werden, dass die stark anisotropen Spannungsverhältnisse eine intensive Zerklüftung begünstigen. Dies wäre eine gute Voraussetzung für ein tiefgreifendes hydraulisches Zirkulationssystem entlang der vertikalen Schichtgrenzen.

Zentralmassive

Die Wärmeflusskarte der Schweiz (Fig. 6), und insbesondere die Bohrlochdaten, auf welchen diese Karte basiert, deuten auf einen verminderten Wärmefluss im Alpenbereich gegenüber der Nordschweiz hin. Die Gründe dafür sind vielschichtig: Zum einen verdickt sich die Kruste unter dem Alpenkörper markant, im weiteren hinterlässt die Vergletscherung der letzten Eiszeit eine deutliche Signatur im untiefen Bereich, und schliesslich beeinflusst die unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit der Sedimente und der kristallinen Gesteine den Wärmefluss. Diese regionalen Phänomene werden vielfach überprägt durch tiefgreifende aber lokal begrenzte hydrothermale Konvektionszellen. Zur Identifikation geothermisch besonders günstiger Gebiete wäre eine bessere Kenntnis konvektiver Zellen nützlich, insbesondere wenn sich eruieren liesse wie tief sie reichen. Erst wenn eine solche Konvektionszelle in Tiefen mit Temperaturen von $> 200^{\circ}\text{C}$ reicht würde dies für ein geothermisches Kraftwerk von Vorteil sein. Erst ein solch tiefgreifendes Konvektionssystem würde die notwendigen Bohrtiefen substantiell verringern.

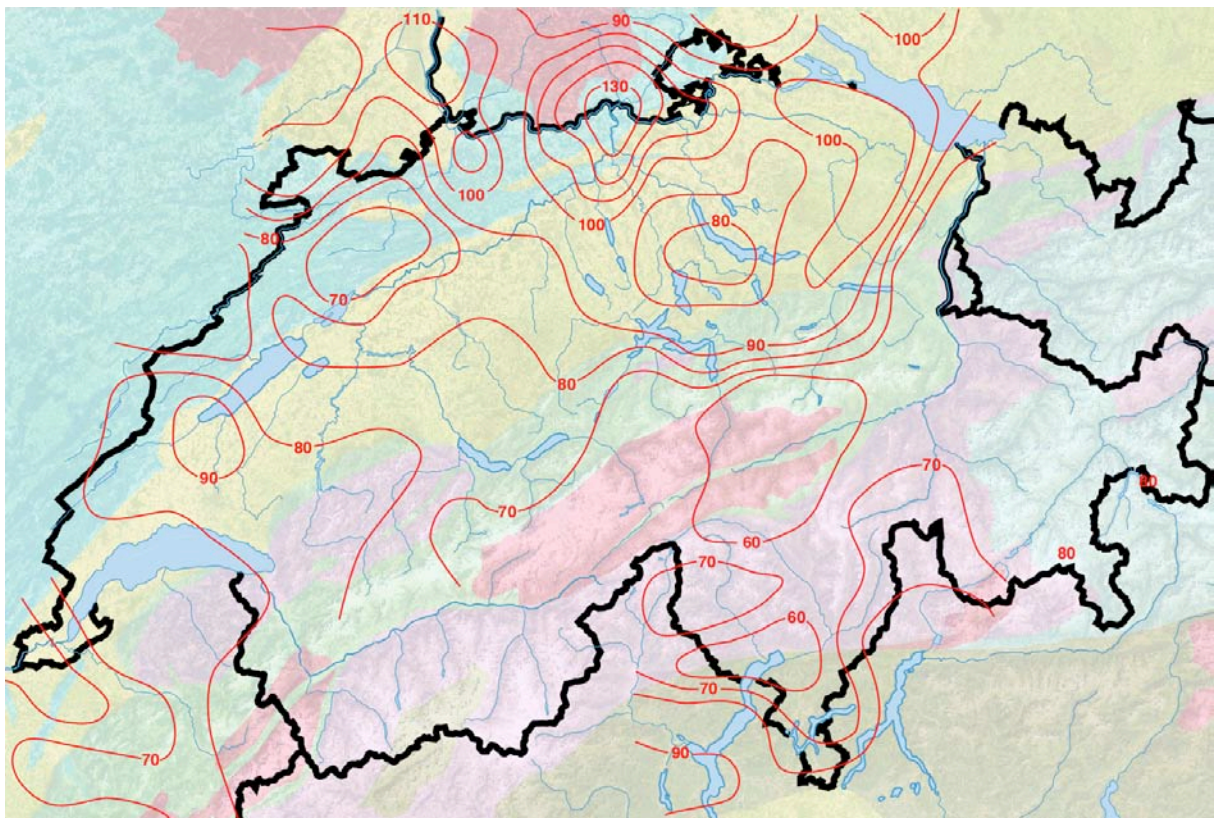


Fig. 6 Wärmeflusskarte der Schweiz. Angaben in mW/m^2 (Medici and Rybach, 1995)

Was bei dieser Karte nicht zum Ausdruck kommen kann – da die Wärmeflusskonturen auf diskreten Datenpunkten und nicht geologischen

Strukturen beruhen – sind lokale Effekte. Speziell im Alpenraum sind das auch topographische Effekte. Der Wärmefluss in Tälern ist aufgrund des Topografieeffekts substantiell höher als der regionale Mittelwert. Dadurch werden auch EGS Anlagen inmitten der Zentralalpen denkbar. Mögliche Standorte sind jeweils individuell zu evaluieren und auf lokale Phänomene zu prüfen. Eine entsprechende Studie ist im Auftrag der KWO im Gebiet des Haslital in Angriff genommen worden.

Öffentlichkeitsarbeit

Stand 11. 12. 2003

Vorträge / Präsentationen

ETG	Am 19. März hat die Energietechnische Gesellschaft von Electrosuisse an der Fachhochschule Aargau in Brugg-Windisch eine Fachtagung mit dem Titel: „Geothermische Energie-Erzeugung: Vision oder Realität?“ mit acht Vorträgen zum Thema durchgeführt. Der Tagungsband ist bei der ETG erhältlich.(ETG, 2003).
Liestal	Am 17. Juni hat Elektra Baselland in Liestal ein Seminar über das Basler EGS-Projekt in Anwesenheit von ca. 500 Interessierten gehalten. Bei diesem Anlass wurde eine aktualisierte deutschsprachige Broschüre über DHM/EGS veröffentlicht.
Bochum	Das Basler Projekt wurde bei Geo2003, dem Kongress der deutschen erdwissenschaftlichen Fachvereine 22. bis 24. September mit einem Vortrag vorgestellt.
Basel	Am EUCOR-URGENT Symposium in Basel vom 29 Sept. bis 1. Okt zum Thema „Assessing natural hazards in a densely populated area“ wurden die bisherigen Resultate, Fortschritt und Pläne des DHM Projekt präsentiert.
FHBB	Am 21. 10. 03 wurde im Rahmen des Nachdiplomstudiums Energie an der Fachhochschule Beider Basel über das Projekt eine Lektion gehalten.
US-Env. Journalists	In Woche 44 hat eine 15 köpfige Delegation nordamerikanischer Journalisten zum Thema nachhaltige Energieversorgung eine Fact –finding Tour durch die Schweiz gemacht. Organisiert war die Tour durch das SECO. Das Projekt DEEP HEAT MINING wurde der Delegation am 29.10. in Basel vorgestellt.
EBL	Anlässlich ihres Delegiertenanlasses am 28. 11. mit 200 Gästen wurde das Projekt DHM Basel von Herr Urs Steiner, Vorsitzender der Geschäftsleitung in einer Video-Show vorgestellt.
Parlamentarier-Treffen	Die parlamentarische Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie hat zum Thema Stromgewinnung aus Geothermie am 2. 12. in Bern ein Parlamentarier-treffen organisiert, bei welchem das Projekt DHM Basel vorgestellt wurde und Fragen zum Verfahren beantwortet werden konnten.

Artikel

Fachzeitschriften	Der Text der Präsentation von M. O. Häring am Abend-Symposium der Elektra Baselland vom 17. Juni wurde von zwei Fachzeitschriften aufgenommen, nämlich: <ul style="list-style-type: none"> - <i>Energie + Wasser</i>, Kundenmagazin der IWB 3/2003 - <i>Wasser Energie Luft</i>, 95, 2003, Heft 7/6, CH-5401 Baden
Tageszeitungen	Über die Annahme des Ratschlags zur Investition und Forderung des Basler Projekts durch die Regierung Basel-Stadt wurden: <ul style="list-style-type: none"> - in der NZZ am 6. August - in der Tribune de Genève am 6. August

- im L'hebdo am 21. August berichtet.

Publikums-Schriften Auch die Fernseh-Wochenzeitung *Te/e* hat in der Ausgabe 30/03 über das Basler Projekt berichtet.

Im Magazin der Elektrizitätsunternehmen *STROM*, das sämtlichen Haushalten der Schweiz zugestellt wird, erschien ein 3-seitiger farbig illustrierter Artikel zum Thema mit dem Titel: Energie aus der Tiefe.

Elektronische Medien

Internet Im Internet haben der Schweizerische Internet Nachrichten-Site swissinfo am 7. August über dieses Ereignis berichtet.

Eigene Websites Die websites www.dhm.ch und www.geothermal.ch wurden ständig dem jeweiligen Projektstand angepasst.

Weitere Arbeiten

Kontakte zu andern EGS-Projekten

Soultz-sous-forêts (GEIE, Frankreich EU)

Der direkte Kontakt mit dem Projektteam in Soultz ist durch die Einbindung von F. Vuataz und R.J. Hopkirk in Forschungs-Teilprojekte in Soultz gewährleistet. Am 9.-10. Oktober fand ein zusätzliches Meeting in Soultz statt, bei welchem unter anderem die Auslegung eines Systems für Seismic Monitoring diskutiert wurde. Die Erfahrungen bei der für 2004 geplante Stimulation des Nahfeldes vom Bohrloch GPK4 und nachher des gesamten erschlossenen Gebiets in Soultz werden wertvolle Andeutungen vom notwendigen Detaillierungsgrad der Geometrie des stimulierten Kluftsystems und der Mechanismen der Kluftausweitungen geben. Der Endzweck ist, einen Wärmetauscher der erwünschten Leistung erzeugen und erfolgreich betreiben zu können. Das Kosten-Nutzen Verhältnis hoher Genauigkeit bei Seismic Monitoring aus Tiefbohrungen ist in dieser Hinsicht ständig zu überprüfen.

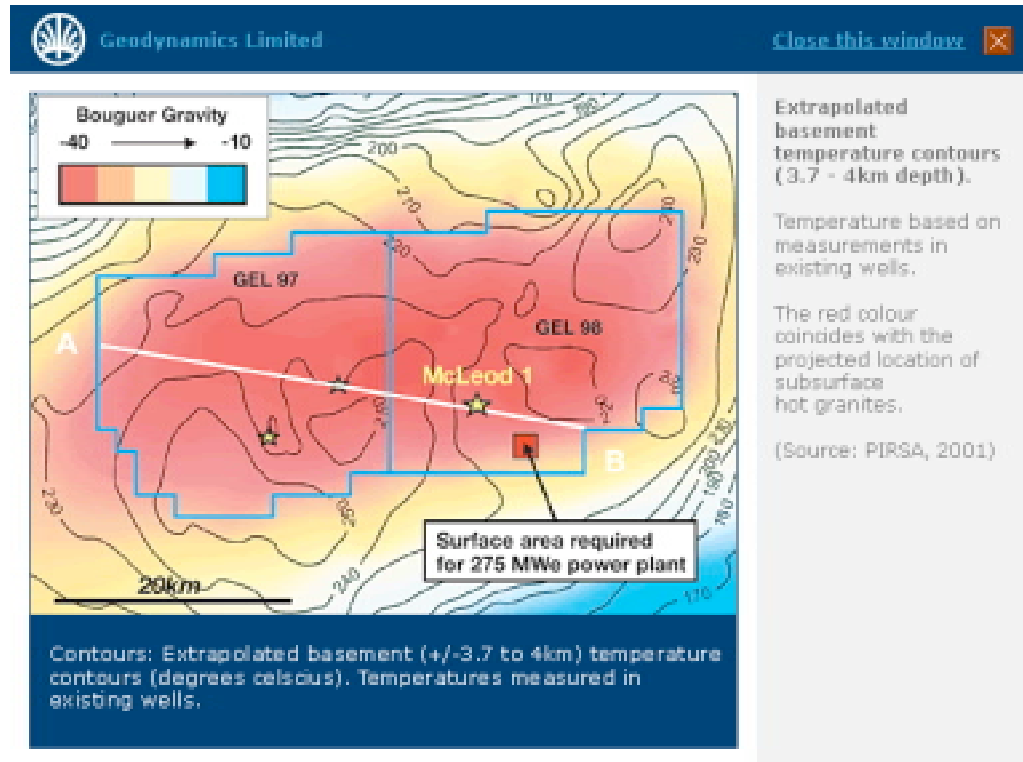
Für die Detailplanung der Bohrung Basel-1 werden Ersthands Information der Projektleiter in Soultz einbezogen. Entsprechende Meetings sind bereits vereinbart.

Ein wichtiger Meilenstein in der Zusammenarbeit wurde im Rahmen des sechsten Rahmenprogramms der EU erreicht. Noch vor Ende des Jahres kann der Vertrag für eine Forschungszusammenarbeit zwischen der ARGE DHM und dem SoultzTeam (EEIG Heat Mining) unterzeichnet werden.

Habanero-1 (Geodynamics, Australien)

Das australische EGS-Projekt ist aus zweierlei Sicht von grossem Interesse: Hier wurde für die Finanzierung der Gang an die Börse gemacht. Dies ermöglichte eine hohe Liquidität in kurzer Zeit, so dass wenige Monate nach Platzierung der Anteilscheine die Finanzierung der ersten Sondierbohrung gesichert war.

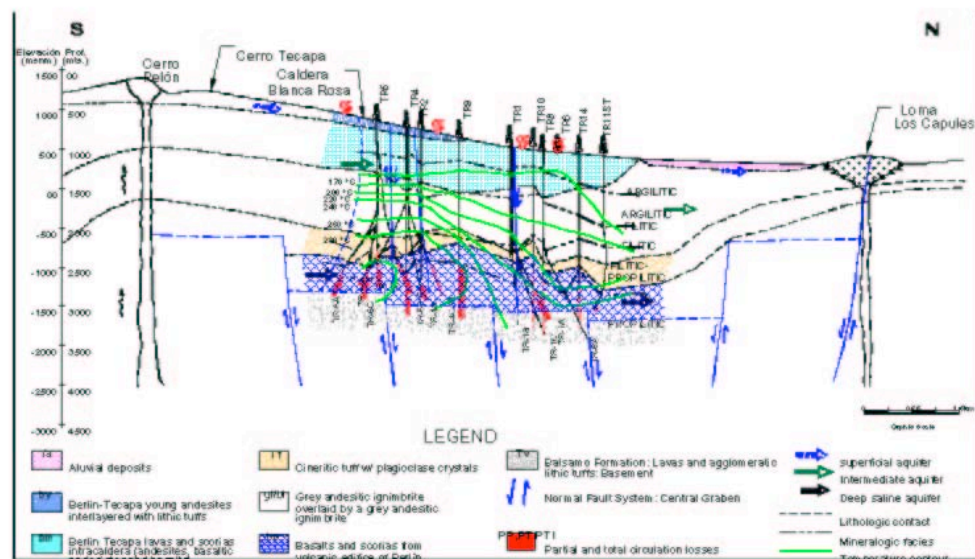
Zum zweiten interessiert das Projekt aufgrund der ungewöhnlichen geologischen Verhältnisse. Der australische Kontinent ist geprägt durch fehlende kompressive Tektonik. Bei solchen Verhältnissen weist die Minimalspannung in vertikaler Richtung. Das bedeutet, dass bei der Injektion vorzugsweise horizontal orientierte Klüfte entstehen. Dies erlaubt mit einem Raster vertikaler Bohrungen grosse sich horizontal ausbreitende Kluftsystem zu erschliessen. Zur Öffnung solcher Kluftsystem sind allerdings relativ hohe Drücke erforderlich entspricht die Minimalspannung doch dem lithostatischen Druck.



Figur 7 Innamincka Dome Wärmeanomalie in Südastralien (Cooper Basin)

LaGeo (Shell/Enel, El Salvador)

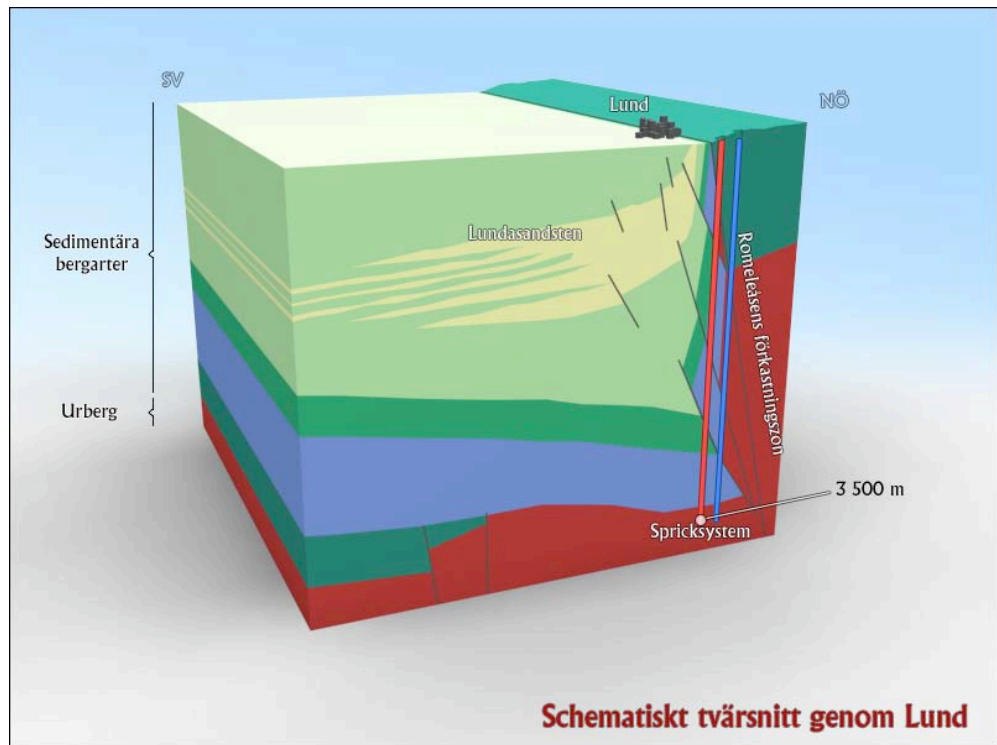
Beim LaGeo Project in El Salvador wird am Rande des Berlin Geothermiefeldes in zwei benachbarten Tiefbohrungen die hydraulische Stimulation von Klüften getestet. Mit einem Netz seismischer Beobachtungsstationen werden unter anderem auch die Risiken induzierter Seismizität ermittelt. Mit der Projektleitung des LaGeo Projekts ist ein Informationsaustausch etabliert. Shell ist daran interessiert innerhalb Jahresfrist einen „proof of concept“ zu erhalten.



Figur 8 Geothermie-Feld Berlin in El Salvador

Lund (Lunds Energi AB, Schweden)

Im südschwedischen Lund wurde eine Bohrung für eine hydrothermale Erschliessung abgeteuft. Interessant an dieser 3'500 m Bohrung war die angewandte Bohrtechnik. Zum Einsatz kam ein weiterentwickelter Bohrhämmer, gebohrt wurde mit einer „underbalanced“ Spülung. Beides sind Techniken, mit welchen in Zukunft grosse Kostensenkungen beim Bohren erreicht werden können. Die Bohrung wurde von Shell Bohringenieurern begleitet. Wir stehen mit diesem Team in engem Kontakt, so dass wir von den gewonnenen Erkenntnissen profitieren können.



Figur 9 Geologische Situation Geothermie-Bohrungen Lund (Südschweden)

Induzierte Seismizität

Auslöser Poren-druckänderungen Induzierte Seismizität ist ein Phänomen, das in verschiedenen Bereichen bergbaulicher Aktivitäten bzw. im Wasserbau beobachtet wird. Auslöser der seismischen Ereignisse ist in allen Fällen eine temporäre oder permanente Änderung der Porendruck-Verhältnisse im Gebirge. Bei einem EGS System werden die Porendrücke im Reservoir gegenüber einem natürlichen statischen Zustand ebenfalls verändert. Die Erzeugung mikro-seismischer Ereignisse ist gewollt; mit dem Einpressen von Wasser in das zu stimulierende Reservoir soll die Permeabilität des Systems erhöht werden. Eine Quantifizierung der induzierten mikro-seismischen Signalen ist ein Hauptuntersuchungsgebiet in allen Projekten. In erster Linie ist die Identifikation und Lokalisierung mikro-seismischer Ereignisse für das Verständnis des Reservoirs von Interesse. Von nicht geringerem Interesse ist aber auch die Kenntnis über ein allfälliges Gefährdungspotential der induzierten Seismizität. In Basel ist dies von besonderer Bedeutung, liegt Basel doch in einer seismisch aktiven Region und verfügt über eine Vielzahl industrieller Installationen, welche aufgrund ihrer potentiellen Gefährlichkeit der Störfallverordnung unterliegen.

Datenerhebung Verlässliche Aussagen lassen sich nur durch ein aktives Monitoring des natürlichen und des stimulierten Zustandes im Untersuchungsgebiet selbst ermitteln. Die bereits erwähnte Monitoring Station Otterbach wird gerade deshalb weit vor dem Zeitpunkt der Ausführung einer ersten Tiefbohrung in Dienst gebracht. Mit ihr sollen schon die unbeeinflussten Verhältnisse über einen möglichst langen Zeitraum erfasst werden. Nützliche Informationen zum Ausmass induzierter Seismizität sind aus Anlagen zu ermitteln, die so gut wie möglich den Rahmenbedingungen in Basel entsprechen. Die besten Grundlagen dazu stammen aus der Pilotanlage in Soultz-sous-forêts: Die Rahmenbedingungen sind denjenigen von Basel sehr ähnlich, sowohl was den struktureologischen Rahmen betrifft, als auch was das Anlagenkonzept betrifft:

	Basel Schweiz	Soultz-sous-forêts Frankreich	Innamincka Australien
Geologie			
Strukturelle Anlage	Distensiver Graben; reduzierte Kruste (MOHO ca 25 km)	Distensiver Graben; reduzierte Kruste (MOHO ca 25 km)	Junge granitische Intrusion
Temperaturgradient	4.0°C/ 100 m	4.0°C/ 100 m	> 5.0°C/ 100 m
Minimalspannung	subhorizontal NNW	subhorizontal NNW	vertikal
Anlagekonzept			
Reservoirtiefe	5 km	5 km	4 km
Bohrkonzept	3+ Bohrungen ab 1 Standort	3+ Bohrungen ab 1 Standort	10+ Bohrungen; im Endausbau 100+ ab unterschiedlichen Standorten

Aus den offensichtlich ähnlichen Verhältnissen in Basel und Soultz eignen sich die Erfahrungen aus dem Elsass wesentlich besser zu einer vorläufigen Einschätzung allfälliger Risiken als diejenigen des australischen Projekts. Eine Diskussion der Resultate aus den seismischen Aufzeichnungen in Soultz würde den Rahmen dieses Berichtes bei weitem sprengen. Die folgenden Angaben sind nur Grössenordnungen in welchem Umfang seismische Ereignisse in Soultz registriert werden:

Anzahl mikroseismische Ereignisse pro Stimulation:	> 10'000
Mit Seismometern an der Oberfläche registrierbar:	< 400
Magnituden $M_L > 2.0$:	< 50
Grösste induzierte Ereignisse:	M_L 1 x 2.9 und 1 x 2.7
Fühlbarkeitsgrenze (in ruhiger Umgebung).	ca. M_L 2
Schadensgrenze:	ca. $M_L > 3.5$

(Fühlbarkeit und Schadensgrenze hängen noch von vielen anderen Faktoren ab und lassen sich nicht auf die Magnitude alleine reduzieren. Die Aussage sollte so verstanden werden, dass unter einer M_L 3.5 Schäden an Gebäuden und Anlagen unwahrscheinlich sind.)

Risiken induzierter Seismizität Beim Standort Basel interessieren nicht nur die direkten Schäden welche aufgrund induzierter Seismizität auftreten könnten, sondern viel mehr in wie fern induzierte Seismizität die Risiken der natürlichen Seismizität beeinflussen und die Erdbebengefährdung erhöhen könnte. Entsprechende Studien werden zusammen mit dem Schweizerischen Erdbebendienst durchgeführt. Grundlage dazu dürften in Kürze Messdaten aus der Monitoring Station Otterbach liefern.

Natürliche Seismizität

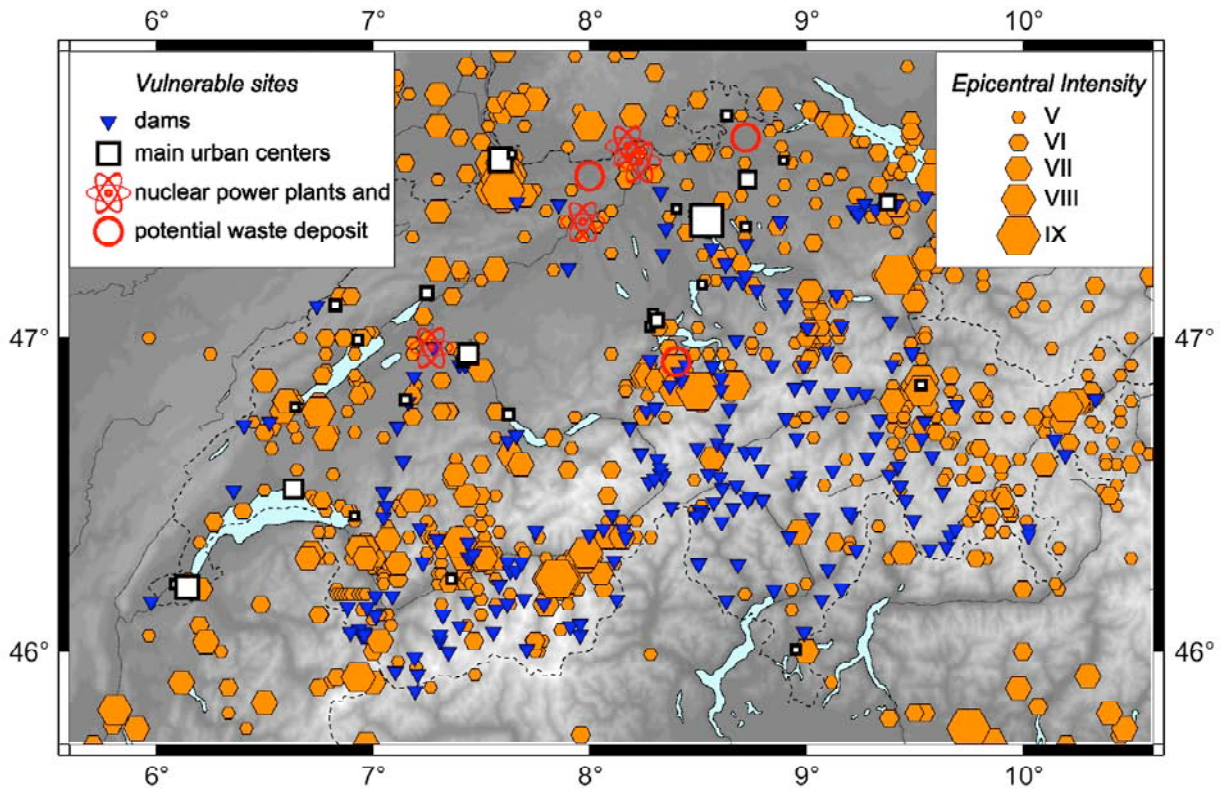
Der Oberrheingraben ist bekanntlich ein seismisch aktives Gebiet. Das heisst, dass es durch den Aufstau dynamischer Kräfte in geologischen Zeiträumen immer wieder zu spontanen Entlastungen im Herd, sprich Erdbeben, kommen kann. Die Ursachen dieser Kräfte sind wohl bekannt, es handelt sich um eine andauernde Kompression im Zusammenhang mit der Alpenbildung, sowie divergierende Kräfte im Graben. Nicht vorhersehbar sind jedoch die Mechanismen, welche zu diesen spontanen Entlastungen führen.

Mit der Injektion von Wasser können lokale Ereignisse induziert werden, das heisst, dass vorhandene Gebirgsspannungen gelöst werden können, bevor diese eine kritische Grösse für einen natürlichen Spannungsausgleich erreicht haben. In diesem Sinne geht von der hydraulischen Stimulation keine Erhöhung der Gefährdung aus, da mit einem solchen Eingriff eine natürlich bestehende Gefährdung allenfalls frühzeitig ausgelöst wird. In diesem Sinne wäre selbst von einer Verringerung der natürlichen Gefährdung zu sprechen, eine Verstärkung der freigesetzten Energien ist daraus nicht abzuleiten.

Eine Gefährdung der Bohrungen durch natürliche seismische Ereignisse wird als gering eingestuft. Die Freisetzung seismischer Energie erzeugt vor allem

an der Oberfläche – abhängig von der Bodenbeschaffenheit – Bodenbewegungen, die zu Gebäude- und Sachschäden führen. Im Untergrund sind die Auswirkungen wesentlich geringer.

Zur Abschätzung der natürlichen seismischen Risiken im Raum Basel gibt es mehrere Arbeiten, aus denen hier nur einige Abbildungen wiedergegeben werden:



Figur 10: Karte der historischen Erdbeben der Schweiz von 1021 bis 1997 in makroseismischen Intensitäten. Nennenswerte Schäden ab Intensität VI (Fäh and Giardini, 2000)

Zur Abklärung der natürlichen Seismizität haben wir vom Schweizerischen Erbdienst eine Darstellung aller Ereignisse, welche seit 1975 dem Beginn der automatischen Erfassung im Raum Basel aufgezeichnet wurden:

Basel 1975-2002

SED, 2003/07/10, n.d.

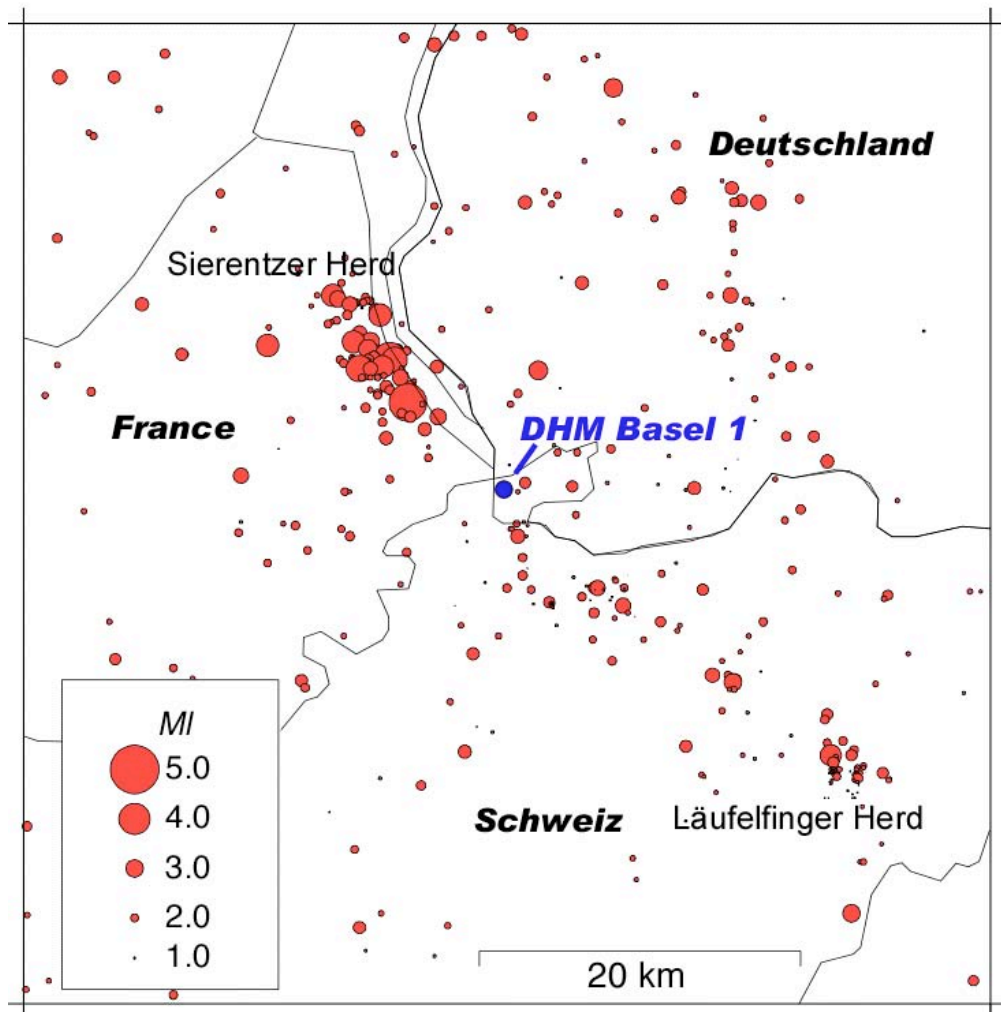


Fig. 11 Seismische Ereignisse Raum Basel 1975 – 2002 (Deichmann, 2003)

Aus dieser Graphik ist eine SE – NW streichende Linie erhöhter seismischer Aktivität zu erkennen. Sie erstreckt sich vom sog. Läufelfinger cluster über die Gebiete Sissach, Pratteln, Basel bis zum sog. Sierentzer Cluster. Die grössten seismischen Ereignisse ($M_L > 4$) konzentrieren sich auf das Sierentzer Gebiet nordwestlich von Basel. Die DHM Pilotanlage liegt auf diesem Trend. Leider sind aus dieser Graphik die Herdtiefen nicht erkennbar. Überhaupt ist die Bestimmung der Herdtiefen mit dem heutigen Netz digital aufzeichnender Seismographenstationen ungenau. Mit der Monitoring Station Otterbach erhofft man sich auch in der Bestimmung der Herdtiefen eine substantielle Verbesserung. Tendenziell sind die natürlichen Herde wesentlich tiefer als das geothermische Reservoir von 5 Kilometern (Bonjer, 1997):

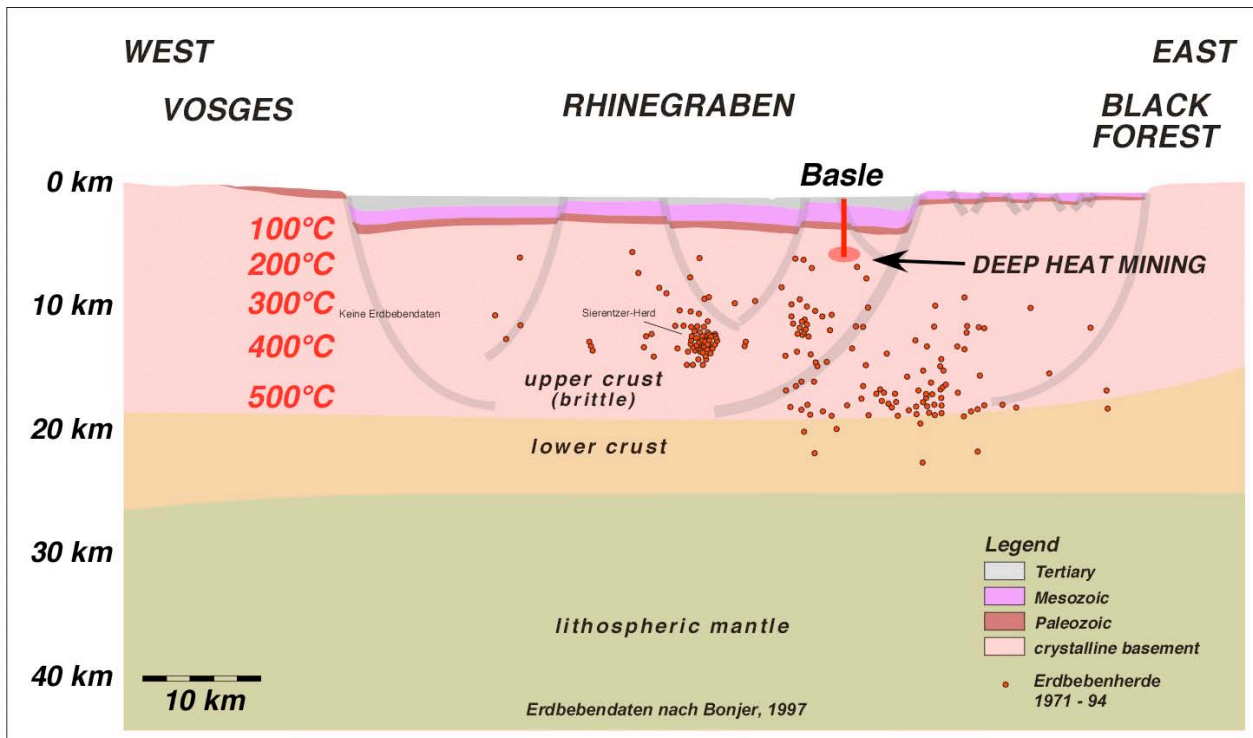


Fig 12: Erdbebenherde Oberrheingraben 1971 – 1994 (Bonjer, 1997)

Der gleiche Trend wie auf der Karte des SED ist auch auf der Karte des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg (Fig. 13) erkennbar. In diesem Datensatz, der die Seismizität in Baden-Württemberg aufzeigt ist subparallel zum Sierentzer – Läfelfinger Trend nördlich davon eine ähnlich NW-SE streichende Linie seismischer Aktivität zu erkennen. Diese Orientierung kann weder in das regionale Spannungsfeld, das NNW-SSE streicht eingeordnet werden, noch entspricht es dem N-S Streichen des oberen Rheingrabens. Die geplante Spannungsmessungen werden diesbezüglich nähere Auskunft geben.

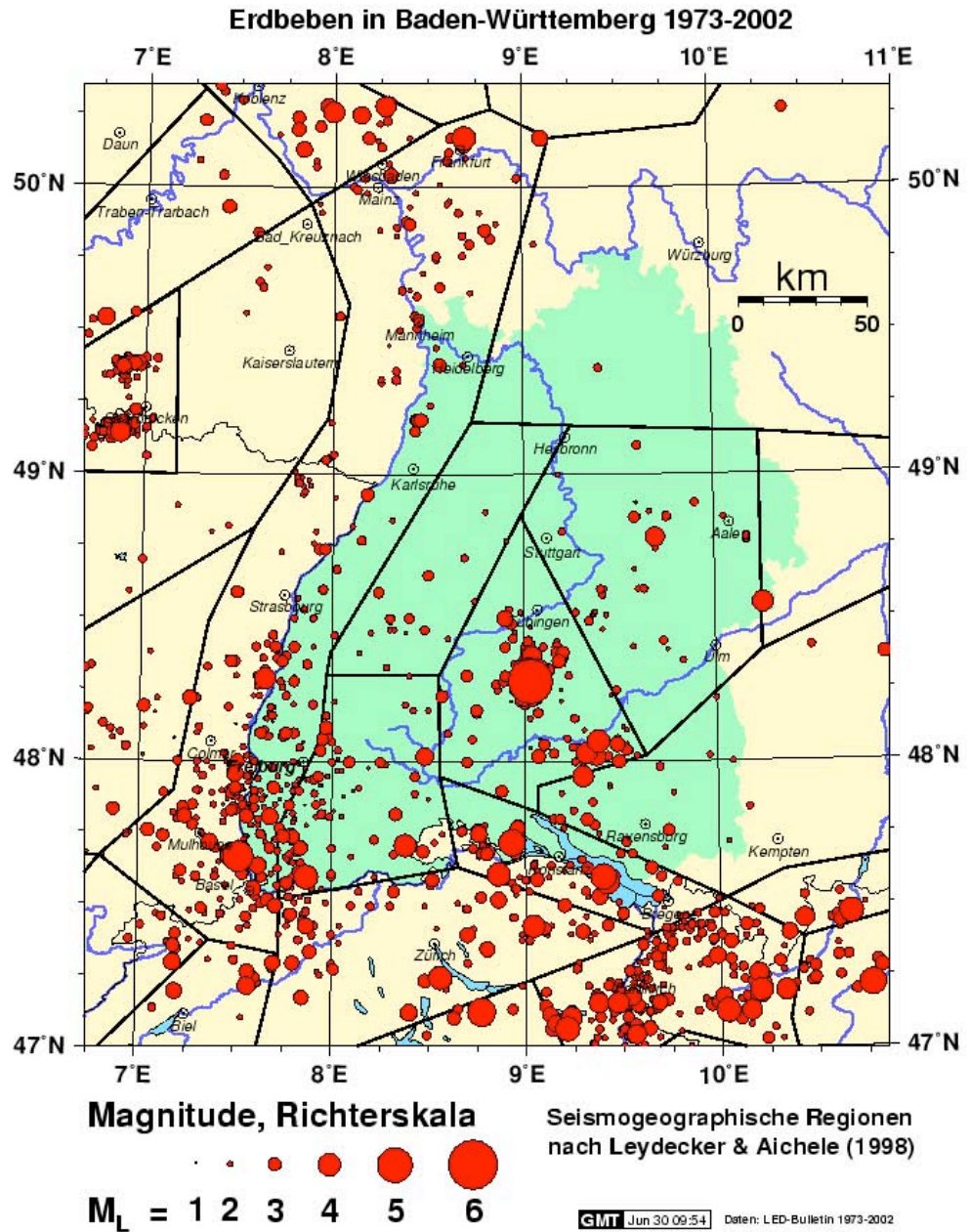


Fig 13: Erdbeben in Baden-Württemberg 1973 – 2002 (Leidecker and Aichele, 1998).

Bibliographie:

Bonjer, K.-P., 1997, Seismicity pattern and style of seismic faulting at the eastern borderfault of the southern Rhine Graben: Tectonophysics, v. 275.

Deichmann, N., 2003, Seismicity Basel 1975 - 2002, *in* epimapBasel.cvx, ed.

ETG, 2003, Geothermische Energie-Erzeugung: Vision oder Realität?: ETG-Informationstagung.

Fäh, D., and D. Giardini, 2000, Erdbebenrisiko in der Schweiz: SGEB-Tagung: Erdbebenvorsorge in der Schweiz, p. 85 - 90.

Landeshydrologie, B. f. W. u. G., ed., Hydrologischer Atlas der Schweiz.

Leidecker, and Aichele, 1998, Erdbeben in Baden-Württemberg 1973 - 2002, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg.

Medici, F., and L. Rybach, 1995, Geothermal Map of Switzerland 1995 (Heat flow density): Beiträge zur Geologie der Schweiz, v. Geophysik Nr. 30.