

Rapports de synthèse des chefs de programme OFEN Überblicksberichte der BFE-Programmleiter 2006

GEOthermie

Rudolf Minder

rudolf.minder@bluewin.ch



Bohrturm des Projekts Deep Heat Mining, Basel

Der für die erste Tiefbohrung von 5000 m eingesetzte 58 m hohe Bohrturm ist der zur Zeit grösste elektrisch operierenden Land-Bohrturm in Europa. Da das Projekt infolge mehrerer induzierter Erdstösse zur Zeit sistiert ist, wurde der Bohrturm anfangs 2007 abgebaut (Bild: Geopower Basel AG).

Programmschwerpunkte und anvisierte Ziele

Im Bereich der **untiefen Geothermie** ist die Technik der Erdwärmesonden heute ausgereift und behauptet sich am Markt. Die Forschungsunterstützung zielt deshalb primär auf grosse und komplexe Anlagen, insbesondere für kombiniertes Heizen und Kühlen. Zu den Forschungsthemen gehören Verfahren zur Beurteilung von Anlagen wie z.B. response tests, Untersuchungen über das langfristige Verhalten von Anlagen und Komponenten, Aufarbeiten von Betriebserfahrungen sowie Erfolgskontrollen. Ebenfalls besteht noch Forschungsbedarf im Bereich der Erdwärmekörbe, welche sich besonders für Niedrigenergie-Bauten eignen.

Bei den **hydrothermalen Quellen** besteht ein Bedürfnis nach einer Bestandesaufnahme der verfügbaren Daten über Aquifere mit geothermischem Nutzungspotential, sowie nach der Identifikation möglicher Projektstandortgebiete. Tiefer gelegene Aquifere mit Temperaturen von 100°C und mehr bieten auch die Möglichkeit der geothermischen Stromerzeugung. Die Forschung und Entwicklung sowie P+D-Anlagen in diesem Bereich haben deshalb einen hohen Stellenwert.

Bei der **tiefen Geothermie** weisen die durch Tiefbohrungen erschliessbaren Wärmereservoirs in grosser Tiefe - *Enhanced Geothermal Systems* (EGS) - ein sehr grosses Potential auf. Obwohl die Forschung sich schon länger mit diesen Systemen befasst, sind noch umfangreiche Anstrengungen nötig, um solche Anlagen zur Marktreife zu bringen. Die Gewinnung von Wärme aus einem in 5000 m Tiefe liegenden Felsvolumen ist eine enorme Herausforderung und erfordert Kenntnisse aus den verschiedensten Disziplinen. Ein fundamentales Problem dieser Technik ist es, dass der Beweis der Machbarkeit nur mit sehr aufwändigen Pilotprojekten erbracht werden kann. Wie die Ereignisse in Zusammenhang mit dem Pilotprojekt *Deep Heat Mining* in Basel gezeigt haben, besteht auf diesem Gebiet noch erheblicher Forschungsbedarf. In diesem Bereich ist auch die internationale Zusammenarbeit von sehr grosser Wichtigkeit.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 2006

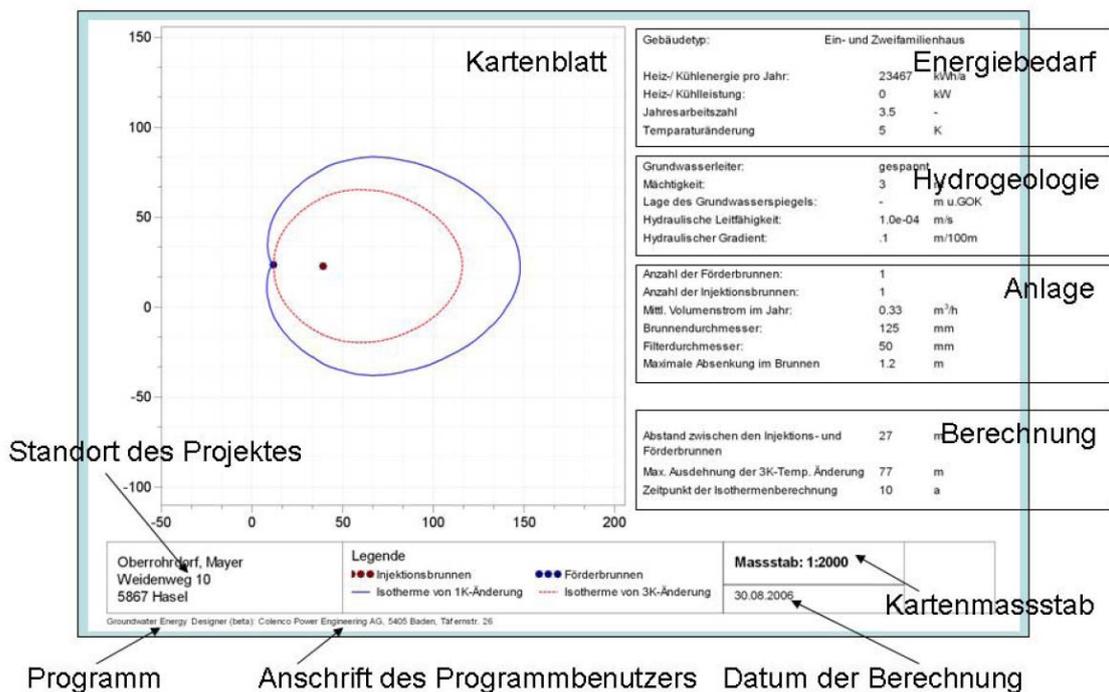
UNTIEFE GEOTHERMIE

Manuel pour le refroidissement de bâtiments par «géo-cooling» sur sondes géothermiques verticales: critères d'intégration, potentiel de refroidissement et règles simplifiées de dimensionnement [1]: Le projet de recherche *Rafraichissement par géo-cooling : bases pour un manuel de dimensionnement* a mis en évidence le manque des connaissances actuelles relatives à l'intégration de ce genre de système dans un bâtiment et de son interaction avec ce dernier, et par voie de conséquence sur le potentiel d'utilisation de ce type de système. L'objectif principal du présent projet est de combler ces lacunes et de rédiger un manuel sur la thématique.

Étude du potentiel d'utilisation du «géo-cooling» d'une installation avec sondes géothermiques verticales appliqué à un bâtiment administratif Minergie® à Chiasso [2]: Le nouveau bâtiment de la douane commerciale de Chiasso – Brogeda est un bâtiment administratif de 2'200 m² de surface de référence énergétique répartis sur 6 étages. Construit de manière à respecter le standard Minergie® avec une distribution de chaleur et de froid par dalles actives (donc avec des températures très basses pour le chauffage et très haute pour le refroidissement), il possède de bonnes caractéristiques pour une intégration optimale d'un système de chauffage et de refroidissement par un champ de sondes géothermiques.

Actualisation du mini-module de chauffage pour tests de réponse thermique des terrains [3]: Le projet vise à augmenter les performances et la rationalisation du mini-module de chauffage réalisé à l'EPFL par le *Laboratoire de mécanique des sols*. Ce module permet de déterminer les caractéristiques thermiques des sols et sondes géothermiques. Sa nouvelle version permettrait de tester des sondes géothermiques jusqu'à environ 300 m de profondeur, tout en conservant la philosophie d'un appareil compact et léger. Cependant, pour ce type de sondes, un débit plus important doit être injecté, ce qui implique de repenser le circuit hydraulique. La télétransmission des données a de plus été actualisée à la suite de problèmes rencontrés avec le réseau GSM. Ces modifications permettent de maintenir cet appareil d'essai à la pointe de la technologie.

Groundwater Energy Designer (GED). Computergestütztes Auslegungstool zur Wärme- und Kältenutzung von Grundwasser [4]: Dieses Tool richtet sich an Planer von kleineren Anlagen sowie an Bewilligungsbehörden. Es berücksichtigt standortspezifisch den Energiebedarf und die hydrogeologischen Verhältnisse. Ausgehend von einer Wärme- oder Kältebedarfsanalyse werden interaktiv die Möglichkeiten der direkten Wärmenutzung des Grundwassers geprüft. Anhand vereinfachter hydrogeologischer Charakteristiken werden dazu die Brunnen zur Grundwasserförderung dimensioniert und unter Berücksichtigung der lokalen Verhältnisse (verfügbare Grundfläche und Grundwasserströmung) die Möglichkeit zur Versickerung des genutzten Wassers am Standort geprüft. Durch Variation der Anzahl und Standorte der Brunnen lassen sich unter Berücksichtigung der konkreten Standortverhältnisse interaktiv beliebige Konfigurationen prüfen und bezüglich einer thermischen Beeinträchtigung des Grundwassers optimieren. Figur 1 zeigt die grafische Darstellung der Ergebnisse des *Groundwater Energy Designer*. Das Programm ist in einer ersten Version öffentlich verfügbar (download Testversion: http://www.colenco.ch/en/groundwater_protection_waste/ged_order.html).



Figur 1: Groundwater Energy Designer: grafische Präsentation der Ergebnisse.

Erstellung von Richtlinien für Grundwasser- Wärme- und Kältenutzungsanlagen [5]: Bei der Planung und Realisierung von Grundwasser-Wärme- und -Kältenutzungsanlagen kommt einerseits der genauen Abklärung der vorliegenden geologisch-hydrogeologischen Voraussetzungen und andererseits den auf die jeweiligen Voraussetzungen abgestimmten Massnahmen wesentliche Bedeutung zu. Im vorliegenden Handbuch werden die einzelnen aufeinander folgenden Vorgehensschritte wie z.B. Konsultation schon vorhandener Unterlagen, richtige Platzierung der zu realisierenden Bohrung sowie die in der jeweiligen Bohrung durchzuführenden Tests aufgeführt. Die aus diesen Vorabklärungen jeweils resultierenden Massnahmen wie z.B. Realisierung eines rückspülbaren Filters in Folge ständig anfallenden Sandes werden anschliessend aufgeführt und erläutert. Mit diesem Vorgehens- und Massnahmenkonzept lässt sich unter Berücksichtigung der jeweiligen Voraussetzungen die optimalste Ausgangslage für die erfolgreiche Realisierung einer Grundwasser-Wärme- und/oder -Kältenutzungsanlage bewerkstelligen.

Thermische Leitfähigkeit: Eichung von in-situ Messungen (d.h. „kabellose Temperatursonde“) mit Laborbestimmungen als Grundlage für die geothermische Kartierung des Kantons ZH bzw. der umliegenden Kantone [6]: Das Projekt dient zur Qualitätskontrolle von *in-situ* Wärmeleitfähigkeitsbestimmungen mittels der vom BFE geförderten und erst jüngst patentierten kabellosen Sonde (*Fisch*). Diese soll zukünftig bei der Dimensionierung von grossen geothermischen Anlagen eingesetzt werden. Konkret soll das Temperaturfeld im Untergrund mit 24 Erdwärmesonden gemessen werden. Aus den Daten wird ein detailliertes Temperatur-Tiefenprofil erwartet, welches die Temperaturverhältnisse im Untergrund widerspiegelt. Zur Berechnung bzw. Eichung von Daten des geothermischen

Wärmeflusses sind des Weiteren verlässliche Labormessungen der Wärmeleitfähigkeit und der Gesteinsdichte bzw. der Porosität notwendig.

Erfahrungsbericht Heizen/Kühlen mit Erdwärmekörpern [7]: Erdwärmekörper werden immer häufiger eingesetzt, insbesondere auch für Niedrigenergie-Bauten. Für die Auslegung sind lokale Verhältnisse und die Art der Energienutzung wesentliche Faktoren. Anhand von Beispielen wird aufgezeigt, welche Auswirkung Überlastungen und schlechte Böden haben können. Das bestehende Handbuch [25] wird durch eine Checkliste ergänzt, die helfen soll, Schäden zu vermeiden. Um die Betriebsweise besser verstehen zu können, werden eine EFH-Anlage (Erdwärmekörper-WP Heizen und Kühlen), 2 sanierte Anlagen und eine MFH-Anlage mit *Datalogger* versehen (Korbtemperatur, WP ein/aus, Heizsystem) und während 1.5 Jahren ausgemessen und ausgewertet.

Update „SwEWS“ Software zur Auslegung von Erdwärmesonden-Anlagen [8]: Bekanntlich werden Erdwärmesonden (EWS) in immer grössere Tiefen installiert, d.h. grossteils in Molasseformationen im Schweizer Mittelland. Da es hierbei in erster Linie um Grossanlagen handelt, kommt bei der Auslegung derartiger Anlagen eine genaue Kenntnis der thermischen Leitfähigkeit grosse Bedeutung zu. Die 1998 publizierte Software/Datenbank *SwEWS* wurde daher mit neuen Daten aus Tiefbohrungen der letzten 7 Jahre ergänzt. Das Programm wurde auf *ACCESS 2000* umprogrammiert und die Benutzeroberfläche von den Daten getrennt, damit spätere *updates* benutzerfreundlich gestaltet werden können. Das PC-Programm wurde im Berichtsjahr fertiggestellt und ist für Anwender verfügbar.

Dokumentation von Schadensfällen bei Erdwärmesonden [9]: Erdwärmesondenanlagen sind ein etabliertes System zum Heizen und Kühlen von Gebäuden. Solche Anlagen benötigen eine fachgerechte Dimensionierung und Bauausführung. Eine nicht sachgerechte Vorgehensweise führt in aller Regel zu einem Schadensfall. Die in diesem Projekt untersuchten Schadensfälle haben u.a. die folgenden Ursachen: Erhöhung oder fehlerhafte Bestimmung des Wärmebedarfs, fehlerhafte thermische Werte des Untergrundes, Unterdimensionierung der EWS, schlechte oder fehlende Hinterfüllung der EWS, fehlerhafte Hydraulik oder Regelung der Wärmepumpe, Leckagen. Insbesondere bei zu hohem Wärmeentzug aus der Erdwärmesonde kommt es in der Regel zu Gefriererscheinungen um die Erdwärmesonde und die Leistung der Anlage verschlechtert sich zusehends bis im Extremfall zum vollständigen Versagen. In diesem Projekt werden Beispiele für häufige Schadensursachen und die dabei nötigen Korrekturmassnahmen erläutert. Für einige Fälle wird zudem die Ursache durch den Vergleich mit Simulationsrechnungen illustriert. Abschliessend werden Hinweise zur fachgerechten Planung und Bauausführung von Erdwärmesondenanlagen gegeben.

TUNNELWASSERNUTZUNG

Concept de drainage des tunnels en vue d'une optimisation de l'utilisation géothermique [10]: A l'heure actuelle l'utilisation du potentiel thermique des eaux drainées par les tunnels se limite à les capter au droit des portails et de les conduire vers des points d'utilisation plus ou moins éloignés. Cette manière de faire peut être suffisante dans les cas où le potentiel d'utilisation est manifestement réduit. Le rendement thermique des eaux souterraines des tunnels est susceptible d'être amélioré de différentes façons, p. ex.: (1) réduction des pertes de température le long du tunnel; (2) optimisation des débits d'eau disponibles par activation au moyen de forages complémentaires; (3) drainage séparatif: captage et évacuation des eaux souterraines de températures différentes dans des conduites distinctes. Après un rappel de l'état actuel de développement et des exigences techniques et environnementales, le rapport passe en revue les différents modes d'optimisation du rendement thermique et présente de nouvelles techniques de récupération de la chaleur souterraine. Des propositions d'actions pour la mise en œuvre des améliorations sont présentées dans les conclusions.

TIEFE GEOTHERMIE

Géothermie du cristallin profond de la vallée du Rhône (phase A) [11]: Le projet entend évaluer la faisabilité d'une production d'électricité d'origine géothermique, en exploitant les aquifères cristallins profonds de la vallée du Rhône dans les cantons du Valais et de Vaud. Plus précisément, le territoire à investiguer concerne les tronçons suivants: St-Maurice/Lavey - Saillon et Leuk - Brig/Naters. Les évaluations existantes montrent que le sous-sol de la vallée du Rhône en Valais et dans le canton de Vaud est caractérisé par un flux de chaleur anormal et localement par une bonne fissuration des roches. La preuve en sont les nombreux établissements de bains thermaux qui jalonnent le territoire en question. Le chimisme des eaux thermales de Lavey-Les-Bains (VD), tout comme celui des eaux de Brigerbad, montrent que le fluide thermal profond

atteindrait une température de 110°C. La figure 2 présente un schéma de centrale géothermique avec valorisation des rejets thermiques. La phase A du projet a été terminée, il est prévu de commencer la phase suivante en 2007.

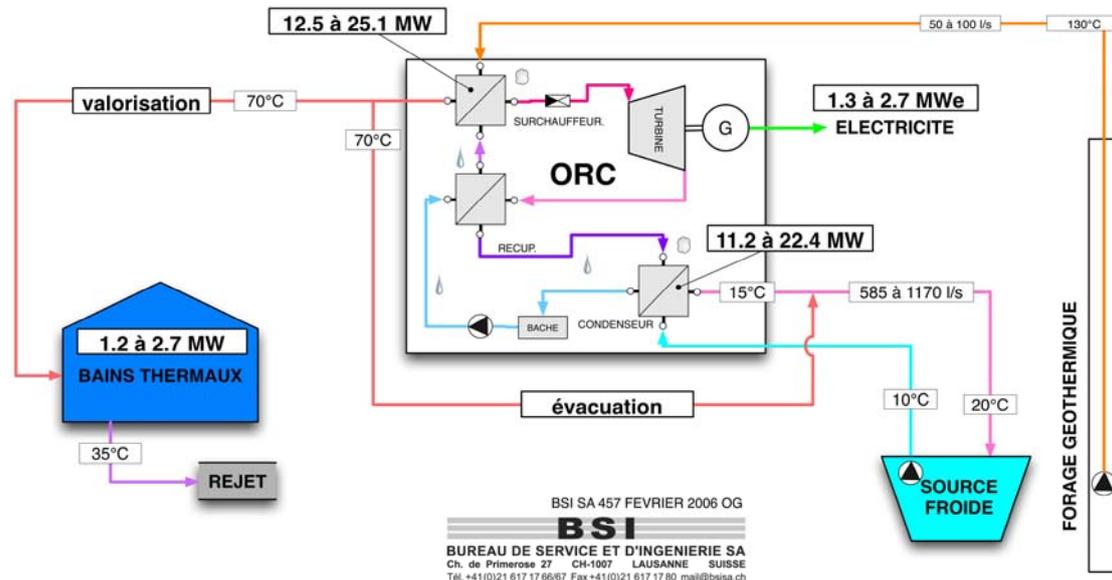


Figure 2: Schéma de centrale géothermique avec valorisation des rejets thermiques.

Base de données des fluides géothermiques de la Suisse [12] : En Suisse, de nombreuses données existent sur les eaux souterraines profondes: ces données proviennent des forages plus ou moins profonds réalisés pour l'évaluation géologique des grands ouvrages de génie civil, pour la prospection géothermique, l'exploration pétrolière, les forages de la NAGRA et ceux des centres thermaux, des sources thermales ainsi que des systèmes de drainage des tunnels. Toutes ces données sont contenues dans une multitude de rapports, souvent non publiés et dispersés. L'objectif de ce projet est de rassembler le maximum d'informations sur les fluides profonds et de les intégrer dans une base de données relationnelles, indispensable pour la planification de nouveaux projets de géothermie. Les paramètres sélectionnés proviendront des domaines suivants : géographie, géologie, hydrogéologie, hydraulique, hydrochimie et géothermie. Géographiquement, l'ensemble de la Suisse sera couvert, sachant que la répartition des données est très peu homogène. Géologiquement, chaque formation contenant des eaux souterraines profondes, depuis le socle cristallin jusqu'aux sédiments molassiques, sera prise en considération.

Géothermie de grande profondeur (GGP) à Genève: Etude économique et business plan préliminaire [13]: Ausgehend von früher im Rahmen der allgemeinen *Deep Heat Mining* (DHM)-Studien sowie des Projekts DHM Basel erarbeiteten Unterlagen wurde ein Business-Plan für das Projekt GGP in Genf erarbeitet. Neben einer Zusammenstellung und Aufdatierung der Projektdaten wurden dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnungen und Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Berechnungen, zusammen mit der technischen Risikoanalyse erlauben es, das Projekt GGP bezüglich der wirtschaftlichen Aspekte und Risiken zu beurteilen. Der Business-Plan soll für die privaten und öffentlichen Projektpartner eine Entscheidungsgrundlage für die nächsten Projektphasen bilden. Auf Grund der seismischen Ereignisse des Projekts DHM Basel ist das Projekt GGP Genf ebenfalls sistiert, bis die Ergebnisse der diesbezüglichen Basler Untersuchungen vorliegen.

Wissenschaftlicher Beirat für Deep Heat Mining in Basel [14]: Die mehrjährigen Forschungsaktivitäten im Bereich EGS waren eine wesentliche Basis für die Inangriffnahme des Pilotprojekts *Deep-Heat-Mining* in Basel bei dem mit der ersten Tiefbohrung im Frühjahr 2006 begonnen wurde. Angesichts der Bedeutung dieses Projektes für die Energieforschung sowie wegen der erheblichen finanziellen und technischen Risiken unterstützt während der gesamten Projektdauer ein wissenschaftlicher Beirat die Projektleitung. Nach erfolgreicher Abteufung bis auf 5000 m wurde am 2. Dezember 2006 mit der Stimulation durch Einpressen von Wasser mit hohem Druck begonnen um Klüfte zu öffnen und wasserdurchlässig zu machen. Die Stimulationsarbeiten wurden nach einem induzierten seismischen Ereignis der Magnitude 3.4 am 8. Dezember unterbrochen. Seitdem sind drei weitere seismische Ereignisse mit Magnitude grösser als 3 aufgetreten [23]. Zur Zeit werden Methoden ge-

prüft, wie das Reservoir besser entwickelt werden kann. Das Projekt ist bis auf weiteres sistiert und die zweite Tiefbohrung wird vorerst nicht in Angriff genommen. Der wissenschaftliche Beirat diskutierte den Ablauf und die Resultate der Stimulation am 18. Dezember 2006. Abschliessende Folgerungen bedürfen einer intensiven Auswertung der Daten und liegen derzeit noch nicht vor [22].

Geothermische Ressourcen, Erarbeitung und Bewertung des geothermischen Potentials der Schweiz, Phase 2006 [15]: Les travaux effectués durant la période du 01.01.2006 au 15.10.2006 afin d'évaluer le potentiel géothermique de la Suisse sont exposés dans ce rapport. La Suisse alémanique a fait l'objet de précédents rapports en 2004 et 2005. Le travail présenté concerne ici presque exclusivement le plateau suisse occidental. La zone étudiée est présentée, et fait l'objet d'une étude géologique et hydrogéologique avancée. Les zones de failles susceptibles d'influencer les régimes hydrauliques et thermiques régionaux sont détaillées. Figure 3 présente des résultats du calcul de la température en 3D des modèles diffusifs. Les modèles structuraux permettant le calcul des températures sont définis et exposés. Une simulation numérique basée sur des processus uniquement diffusifs est réalisée pour chaque modèle régional. Une comparaison des résultats en température ainsi obtenus avec les données thermiques disponibles dans chaque domaine défini est effectuée. Pour terminer, les températures calculées sont présentées en 3D et à la base du mésozoïque. La prochaine étape de travail concerne l'évaluation de la productivité géothermique des unités lithologiques concernées. Cette évaluation sera basée sur l'analyse des données hydrogéologiques effectuées dans le présent rapport. Le projet sera terminé en 2007.

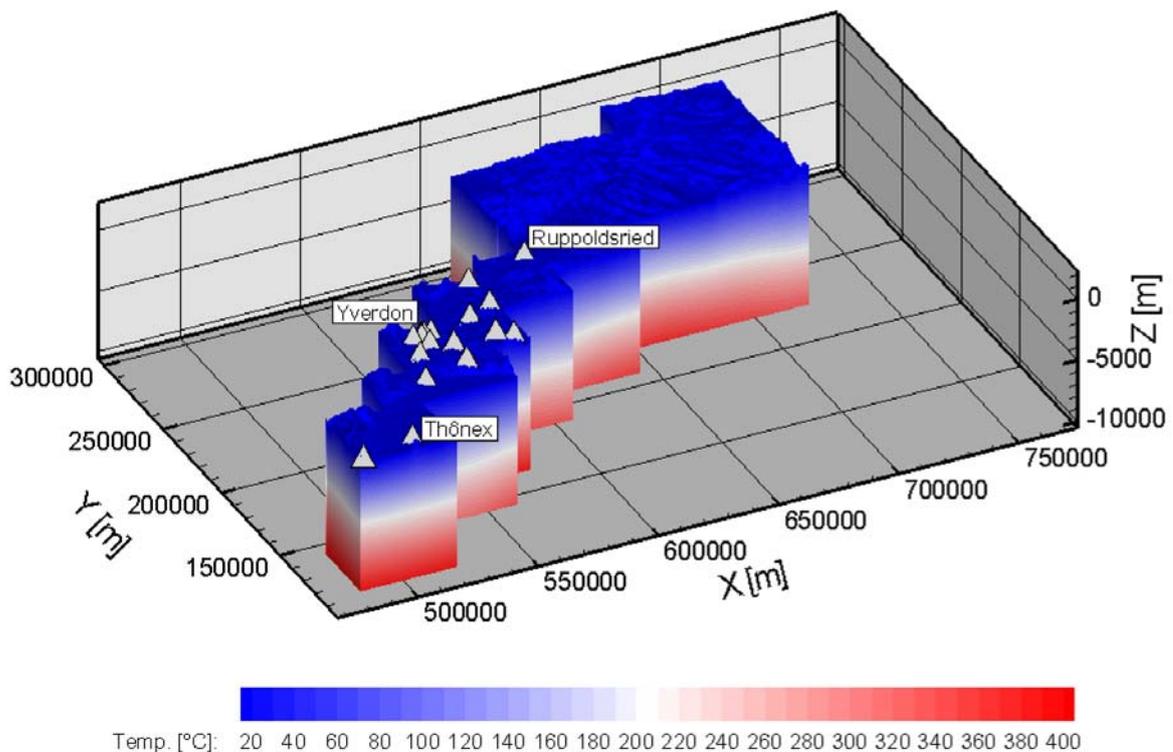


Figure 3: Résultats du calcul de la température en 3D des modèles diffusifs de Genève, WS1 à WS4, Soleure, Bâle, NOS I à NOS III, et AG_ZH.

Energieumwandlungsprozesse für die Nutzung geothermischer Energie [16]: Die Studie befasst sich mit den theoretischen und praktischen Aspekten der Umwandlung von geothermischer Wärme in Elektrizität. Der Bericht umfasst drei Teile. Zunächst werden die Eigenschaften von geothermischen Ressourcen als Wärmequellen diskutiert, wobei sowohl Aquifere höherer Temperatur als auch EGS-Systeme betrachtet werden. Es wird ein Überblick über die wichtigsten physikalischen Umwandlungsprozesse gegeben und sie werden hinsichtlich ihrer zukünftigen Anwendung in geothermischen Systemen beurteilt. Der zweite Teilbericht behandelt die praxisorientierten Probleme in Zusammenhang mit Planung, Bau und Betrieb von geothermischen Kraftwerken. Dies umfasst die technischen Grundlagen, insbesondere standortspezifische Bedingungen, Tiefbohrtechnik, Qualität des geothermischen Wassers sowie Materialwahl für die Komponenten der Installation. Weiter werden die Planung der unter- und oberirdischen Installationen, Aspekte von Betrieb und Unterhalt und Fragen zu Kosten und Wirtschaftlichkeit behandelt. Der dritte Teilbericht befasst sich mit der Methodik der optimalen Nutzung des thermodynamischen Potentials geothermischer Quellen. Dabei wurden Daten von drei Schweizer

Projekten für Fallstudien verwendet: die EGS-Projekte DHM Basel und GGP Genf sowie das Aquifer-Projekt Lavey-les-bains. Als Umwandlungssysteme wurden Flash-, Rankine- (ORC-) und Kalina-Prozesse bearbeitet. Die Optimierung erfolgte mittels einer thermodynamisch-ökonomischen Zielfunktion. Die Resultate der drei Fallstudien bilden eine wertvolle Grundlage für die Weiterverfolgung der genannten Projekte sowie auch für neue Vorhaben.

Nationale Zusammenarbeit

Im Berichtsjahr wurde mit den folgenden Schweizer Institutionen eng zusammengearbeitet:

- **Universitäten und Fachhochschulen:** ETHZ (Institut für Erdwissenschaften), Hochschule Wädenswil, Université de Neuchâtel (Centre de recherche en géothermie, CREGE, www.crege.ch), EPFL (Département de génie civil, Institut des sols, roches et fondations), Université de Genève (Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie), Naturhistorisches Museum Basel, Scuola universitaria della Svizzera italiana SUPSI (Istituto di scienze della terra e laboratorio di energia, ecologia ed economia), Haute école valaisanne, und Hochschule für Technik und Informatik (HTI) Burgdorf.
- **Stromindustrie und Wärmeversorgung:** BKW, ATEL, Elektra Baselland, Industrielle Werke Basel, Geopower Basel AG, Services Industriels de Genève, Verband Fernwärme Schweiz (VFS), etc.
- **Bundesämter, Agenturen und Fachverbände:** Agentur für erneuerbare Energien und Energieeffizienz (AEE, APES), Aktion für vernünftige Energiepolitik Schweiz (AVES), BAFU, BBW, BWG, Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz (FWS), energie-cluster, etc.
- **Energiefachstellen der Kantone**

Internationale Zusammenarbeit

Geothermal Implementing Agreement (GIA) der IEA [17]: Prof. Dr. L. Rybach ist weiterhin Vice Chairman des GIA Executive Committee. Das 14. Meeting des GIA ExCo fand am 16./17. März 2006 in Paris statt, das 15. Meeting am 7./8. September 2006 in San Diego, California, USA. Das *Geothermal Implementing Agreement* wurde um eine weitere 5-Jahresperiode bis zum 31. 3. 2012 verlängert.

FP6 Strep EGS Pilot Plant. European Geothermal Project for the Construction of a Scientific Pilot Plant based on enhanced Geothermal System, Soultz-sous-Forêts, Alsace, France [18]: Seit 2004 wird dieses EU-Projekt gemeinsam vom BFE und BBW finanziert. Die laufende Projektphase sollte ursprünglich im Frühjahr 2007 abgeschlossen werden, das Projekt wird jedoch wegen verschiedener Zusatzarbeiten und unvorhergesehenen Problemen um 18 Monate verlängert.

Im Berichtsjahr fanden ebenso Kontakte mit verschiedenen internationalen Institutionen statt, u.a. mit **ENGINE** („Enhanced Geothermal Innovative Network for Europe“), **I-GET** („Integrated Geophysical Exploration Technologies“), **EGEC** („European Geothermal Energy Council“), **IGA** („International Geothermal Association“), **BRGM** („Bureau de Recherches Géologiques et Minières“), **AMETER** (Aménagement du Territoire, Planification Énergétique et Promotion des Energies Renouvelables), **GTV** (Geothermische Vereinigung e.V. - Bundesverband Geothermie, Deutschland).

Pilot- und Demonstrationsprojekte

Erfolgskontrolle und Planungsinstrumente für EWS-Feld Hotel Dolder Zürich [19]: Im Mittelpunkt des Energiekonzepts beim Neubau des *Dolder Grand Hotels* in Zürich stehen 70 Erdwärmesonden von je 152 m Länge, mit welchen Wärme und Kälte aus dem Untergrund gewonnen wird. Von Anbeginn der Planung war das Energieziel klar: halbiertes Verbrauch bei verdoppelter Grösse des Hotels. Die Bohr- und Installationsarbeiten für die Erdwärmesonden wurden im Frühjahr 2005 abgeschlossen. Das geothermische Verhalten konnte mit dem so genannten *Response Test* untersucht werden, um damit die Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes zu bestimmen. Nach Bauabschluss soll im Jahr 2007 der Heiz- bzw. Kühlbetrieb mit geothermischer Energie aufgenommen werden. Entlang einer Reihe von 3 Erdwärmesonden, d.h. am Rand des EWS-Feldes und den dazugehörigen Anschlussleitungen,

wurde ausserdem ein Glasfaserkabel installiert, welches für zukünftige Messungen der Betriebssoletemperatur dienen wird. Zusätzlich wurden 2 EWS in der Mitte des EWS-Feldes mit Temperaturfühlern ausgerüstet.

Energiepfahlanlage Dock Midfield, Zürich Flughafen [20]: Le *Dock Midfield* est le nouveau terminal E de l'aéroport de Zurich. Avec une longueur de 500 m sur une largeur de 30 m, il a été construit dans le cadre de la 5^e étape de développement de l'aéroport. En raison de mauvaises conditions géologiques, le bâtiment a dû être construit sur 440 pieux de fondation. Les pieux sont de gros diamètres (de 90 à 150 cm) et sont fichés dans une couche de moraine de fond située à environ 30 mètres de profondeur. Dans le but de contribuer au chauffage et au refroidissement du bâtiment, plus de 300 pieux sont utilisés en pieux énergétiques. Le bâtiment a été mis en service en automne 2003. Les mesures de l'installation utilisant les pieux énergétiques ont débuté en octobre 2004 pour une durée de 2 ans. Des problèmes avec l'acquisition des mesures réalisées par le système de contrôle du bâtiment ont impliqué un surcroît d'efforts pour leur traitement. Toutes les mesures ont été contrôlées et analysées pour la première année de mesure, soit d'octobre 2004 à septembre 2005. Le bilan énergétique des pieux montre que 39% de l'énergie annuelle extraite est réinjectée par *geocooling*. Cette valeur est compatible avec et conforme aux prédictions établies lors de la phase de planification du système. Un potentiel d'amélioration existe dans la distribution de froid: la température de retour de l'eau dans le circuit de distribution est de 4 à 5 K plus basse que prévue dans le concept du système, ce qui pénalise l'énergie de refroidissement couverte par *geocooling*.

Bewertung 2006 und Ausblick 2007

Der grosse Markterfolg bei den **Erdwärmesonden-Anlagen** (EWS) zeigt, dass sich die Forschung in diesem Bereich in den vergangenen Jahren gelohnt hat. Die technisch-wissenschaftlichen Hintergründe der EWS sind heute gut bekannt. Damit hat sich der Forschungsbedarf in Richtung speziellere Anwendungen wie Anlagen für Heizung und Kühlung, Geostrukturen oder Erdwärmekörbe verschoben, wo noch wichtige Erkenntnisse zu erarbeiten sind. Nach wie vor wichtig, sind auch Instrumente zur Unterstützung der Planung, Ausbildung und Qualitätssicherung. In diesen Bereichen wurden im Berichtsjahr einige wichtige Projekte durchgeführt.

Bei den **hydrothermalen Ressourcen** liegt die Umsetzung gegenüber den EWS noch deutlich zurück. Hier besteht ein grosser Bedarf an der Erarbeitung von Grundlagenkenntnissen, insbesondere bei tiefer liegenden Ressourcen. Verschiedene Projekte befassen sich mit diesen Aspekten mit dem Ziel, dass das Potential dieser Quellen längerfristig besser ausgeschöpft werden kann. Wichtige Ziele für die kommenden Jahre sind die Planung und Realisierung einer ersten Pilotanlage mit kombinierter Strom- und Wärmeerzeugung, sowie die Evaluation neuer Standortgebiete.

Die Arbeiten auf dem Gebiet der **tiefen Geothermie**, der *Enhanced Geothermal Systems* (EGS) zeigten, dass auf diesem Gebiet noch viele offene Fragen bestehen, welche die Forschung auch längerfristig beschäftigen werden. Der für 2007 geplante Abschluss des Europäischen Projekts *EGS Pilot Plant* in Soultz musste deshalb auch hinausgeschoben werden. Die im Dezember 2006 bei der Stimulation der ersten Tiefbohrung in Basel aufgetretenen seismischen Ereignisse [21-23] stellen die Fortsetzung des Projekts *Deep Heat Mining* in Frage. Für die Zukunft dieser Technik ist die wissenschaftliche Aufarbeitung dieser Ereignisse von zentraler Bedeutung. Im Rahmen der Möglichkeiten des Geothermie-Forschungsprogramms sollen diese Arbeiten im Jahr 2007 unterstützt werden. Längerfristig muss die EGS-Technik nach wie vor als interessante Option der CO₂-freien Stromerzeugung betrachtet werden, insbesondere wenn es gelingt, Reservoirs mit höheren Temperaturen zu erschliessen, wie kürzlich vorgeschlagen wurde [24]. Da in diesem Bereich hohe Kosten für Versuchs- oder P+D-Anlagen anfallen, ist die internationale Zusammenarbeit von besonderer Bedeutung.

Liste der F+E-Projekte

(JB) Jahresbericht, (ZB) Zwischenbericht
(SB) Schlussbericht, Projektnummer

(siehe www.energieforschung.ch unter den angegebenen Projektnummern in Klammern). Unter den angegebenen Internet-Adressen sind die Berichte sowie weitere Informationen verfügbar.

- [1] D. Pahud, (daniel.pahud@dct.supsi.ch), LEEE – SUPSI, *Canobbio: Manuel pour le refroidissement de bâtiments par «géo-cooling» sur sondes géothermiques verticales: critères d'intégration, potentiel de refroidissement et règles simplifiées de dimensionnement* (JB, 101'295)
- [2] D. Pahud, (daniel.pahud@dct.supsi.ch), LEEE – SUPSI, *Canobbio: Etude du potentiel d'utilisation du «géo-cooling» d'une installation avec sondes géothermiques verticales appliqué à un bâtiment administratif Minergie® à Chiasso* (JB, 101'291)
- [3] L. Laloui, (lyesse.laloui@epfl.ch), EPFL – ENAC, *Lausanne: Actualisation du Mini-module de chauffage pour tests de réponse thermique des terrains* (SB, 101'189)
- [4] J. Poppei, (POJ@colenco.ch), COLENCO POWER ENGINEERING AG, *Baden: Groundwater Energy Designer (GED). Computergestütztes Auslegungstool zur Wärme- und Kältenutzung von Grundwasser* (SB, 101'144)
- [5] M. Eberhard, (service@eberhard-partner.ch), EBERHARD UND PARTNER AG, *Aarau: Erstellung von Richtlinien für Grundwasser- Wärme- und Kältenutzungsanlagen* (SB, 101'335)
- [6] U. Schärli, (ueli.schaerli@geophysik.ch), DR. U. SCHÄRLI GEOLOGIE + GEOPHYSIK, *Zürich: Thermische Leitfähigkeit: Eichung von in situ Messungen (d.h. „kabellose Temperatursonde“) mit Laborbestimmungen als Grundlage für die geothermische Kartierung des Kantons ZH bzw. der umliegenden Kantone* (JB, 101'289)
- [7] E. Rohner, (rohner@geowatt.ch), GEOWATT AG, *Zürich: Erfahrungsbericht Heizen/Kühlen mit Erdwärmekörpern*
- [8] W. Leu (werner.leu@geoform.ch), GEOFORM AG, *Minusio: Update „SwEWS“ Software zur Auslegung von Erdwärmesonden- Anlagen* (SB, 101'296)
- [9] S. Bassetti, (bassetti@geowatt.ch), GEOWATT AG, *Zürich: Dokumentation von Schadensfällen bei Erdwärmesonden* (SB, EnergieSchweiz)
- [10] J. Wilhelm, (jules.wilhelm@bluewin.ch), INGENIEUR-CONSEIL, Pully: *Concept de drainage des tunnels en vue d'une optimisation de l'utilisation géothermique* (SB, 101'292)
- [11] G. Bianchetti, (bianchetti@alpgeo.ch), ALPGEO SARL, *Sierre: Géothermie du cristallin profond de la vallée du Rhône (phase A)* (SB, 101'445)
- [12] F.-D. Vuataz, (francois.vuataz@unine.ch), CREGE, Neuchâtel: *Base de données des fluides géothermiques de la Suisse (BDFGeotherm)* (JB, 101'824)
- [13] F.-D. Vuataz, (francois.vuataz@unine.ch), ARBEITSGEMEINSCHAFT DHM, *Genf: Géothermie de grand profondeur (GGP) à Genève – travaux préparatoires du 1^{er} forage d'exploitation* (SB)
- [14] M. Häring, (haring@geothermal.ch), GEOPOWER AG, Pratteln: *Wissenschaftlicher Beirat für Deep Heat Mining in Basel*
- [15] S. Signorelli, (signorelli@geowatt.ch), SCHWEIZERISCHE GEOPHYSIKALISCHE KOMMISSION (SGPK), *Zürich: Geothermische Ressourcen: Erarbeitung und Bewertung des geothermischen Potentials der Schweiz, Phase 2006* (JB, 100'022)
- [16] R. Minder, (rudolf.minder@bluewin.ch), MINDER ENERGY CONSULTING, *Oberlunkhofen: Energy Conversion Processes for the Use of Geothermal Heat* (SB, 101'288)
- [17] Th. Mégel, (megel@geowatt.ch), GEOWATT AG, *Zürich: Teilnahme am Geothermal Implementing Agreement der IEA, Fortsetzung 2006* (JB, 41'661)
- [18] F.-D. Vuataz, (francois.vuataz@unine.ch), DEEP HEAT MINING ASSOCIATION, *Steinmaur: FP6 Strep EGS Pilot Plant. European Geothermal Project for the Construction of a Scientific Pilot Plant based on enhanced Geothermal System, Soultz- sous- Forêts, France* (JB, 100'528)

Liste der P+D-Projekte

- [19] B. Sigg, (info@doldergrand.ch), DOLDER GRAND HOTEL, Zürich: **Erfolgskontrolle und Planungsinstrumente für EWS- Feld Hotel Dolder Zürich** (JB, 100'878)
- [20] M. Hubbuch, (m.hubbuch@hswzfh.ch), FH Wädenswil, Wädenswil: **Energiepfahlanlage Dock Midfield, Zürich Flughafen** (JB, 37'373)

Referenzen

- [21] **Bericht der Geopower Basel AG zu den seismischen Ereignissen, inkl. Stellungnahme der Mitglieder des Wissenschaftlichen Beirats:** <http://www.geopower-basel.ch/html/Bericht.html>
- [22] **Web-Site des Baudepartements des Kantons BS mit download-Möglichkeit relevanter Dokumente zum Projekt Deep-Heat-Mining Basel:** <http://www.bd.bs.ch/geothermie>
- [23] **Spezielle Website des Schweizerischen Erdbebendienstes SED:** <http://www.seismo.ethz.ch/basel/>
- [24] **The Future of Geothermal Energy - Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century**, J. W. Tester *et al.*, Massachusetts Institute of Technology, (http://geothermal.inel.gov/publications/future_of_geothermal_energy.pdf)
- [25] **Projekt Erfolgskontrolle und Wirtschaftlichkeitsanalyse von Messkampagnen zu P&D Anlagen**, S. Bassetti, E. Rohner, L. Rybach, und S. Sellami, Schlussbericht zum Forschungsprojekt Erfolgskontrolle u. Wirtschaftlichkeitsanalyse von P+D-Projekten (SB 240'087), September 2004.