

## Jahresbericht 2000 zu Händen des Bundesamtes für Energie

*Berichterstatter* Dr. Beat Keller

*Adresse* Mengis + Lorenz AG  
Schlossstrasse 3  
CH-6005 Luzern

Tel.: +41 (0)41 310 51 02  
Fax.: +41 (0)41 310 79 79  
EMail: mengis+lorenz@centralnet.ch

*Titel des Projekts*

### **Pilotbohrung für einen geothermischen Diffusionsspeicher DIS 32525 / 72442**

*Zusammenfassung*

Zur Erforschung des Untergrundes eines geplanten geothermischen Diffusionsspeichers mit 150 kW Leistung wurden in Root LU eine gekernte Pilotbohrung sowie zwei Pilotsonden realisiert. Mittels Bohrlochgeophysik wurden die punktuellen Labormessungen der Petrophysik und der Wärmeleitfähigkeiten und -kapazitäten auf das gesamte Lithosom extrapoliert, so dass ein verlässliches konzeptuelles geothermisches Modell für die Simulationen bereitgestellt werden konnte. Die derart ermittelten mittleren Wärmeleitfähigkeiten der wassergesättigten Formation betragen  $3.6 \pm 0.2$  W/m·K, die Wärmekapazitäten liegen zwischen 800 und 850 J/kg·K. Der in situ gemessene lineare Temperaturgradient beträgt 23.3 K/km.



## 1 PROJEKTZIELE 1998/1999

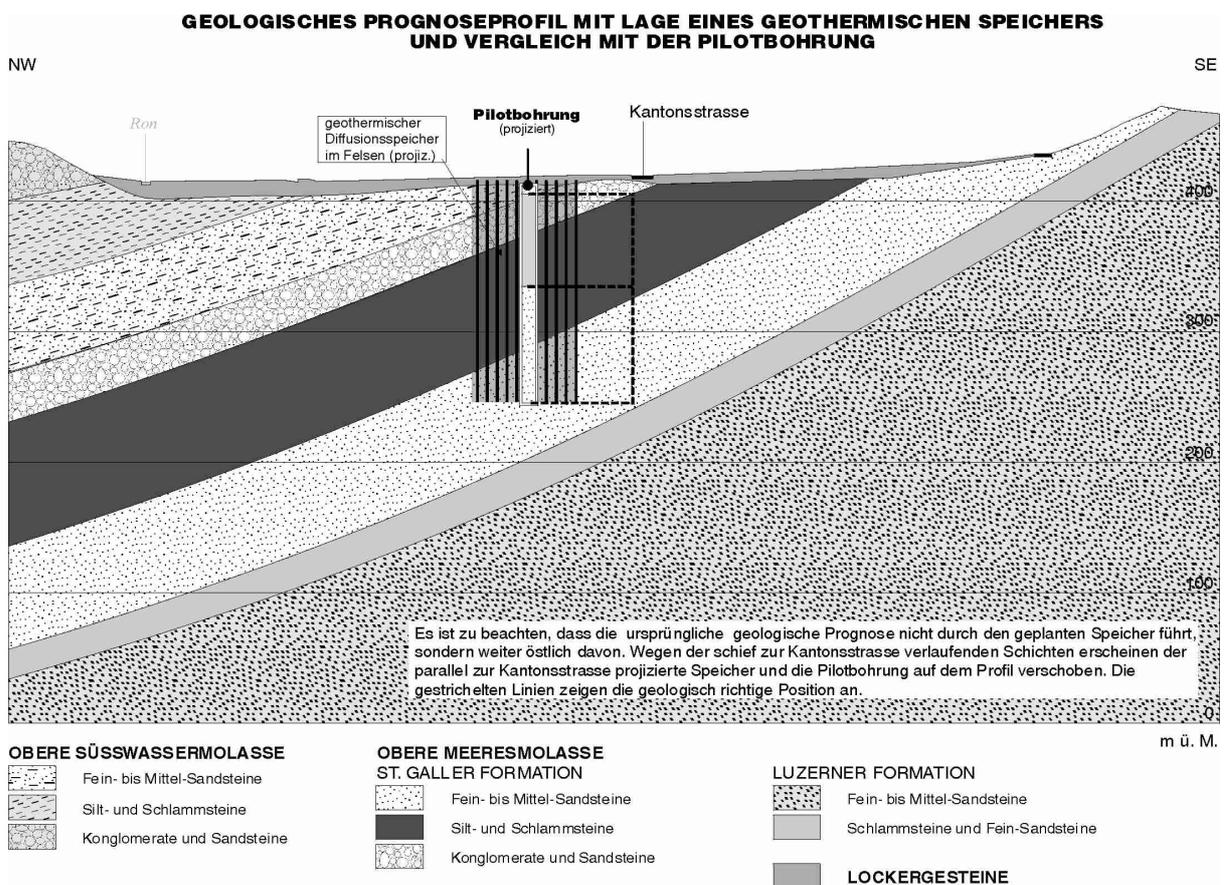
Als wichtiger integraler Bestandteil der Energieversorgung für die Grossüberbauung D4 in Root (LU) soll ein geothermischer Diffusionsspeicher realisiert werden. Der Speicher wird für die Grundversorgung Wärme/Kälte mit Leistungen von ca. 150 kW dimensioniert, wozu 70 Sonden à 160 m Länge vorgesehen sind.

In Anbetracht der Grösse des Projekts wurden die geologischen, petrophysikalischen, thermischen und geophysikalischen Eigenschaften des Felsuntergrundes mit einer 160 m tiefen Pilotbohrung erforscht. Dabei sollten u.a. die punktuellen Labor-Messdaten der Wärmekapazität und -leitfähigkeit mittels geophysikalischer Logs auf den ganzen Speicher extrapoliert werden, um ein verlässliches konzeptionelles Modell für die Speicherdimensionierung und -simulation bereitzustellen. Darüber hinaus soll die mit Temperaturfühlern zu bestückende Pilotbohrung in der Betriebsphase zur Beobachtung der Speichertemperaturen und damit zu Steuerung dienen.

Die Wärmeleitfähigkeiten wurden in einem Parallelversuch durch thermische Reaktionstests (PAHUD 1999) in zwei benachbarten destruktiven und später in den Speicher zu integrierende Nachbarbohrungen verifiziert.

## 2 PROJEKTORGANISATION UND DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN

Projektteile und Untersuchungen	Beteiligte Personen, Firmen und Institutionen
Konzept, Projektplanung und –organisation Geologie und Hydrogeologie Gesamtauswertung	Dr. B. Keller Mengis + Lorenz AG (Luzern)
Bohrlochgeophysik und Fluid-Logging Messungen	H.-R. Fisch, W. Albert, K.N. Lux, S. Fricke, U. Stump, H. Hess, Arbeitsgemeinschaft Solexperts (Schwerzenbach) Albert-Donié Geo-Consult (Wettingen) BLM (Gotha D)
Geothermische Labormessungen	Dr. U. Schärli und Prof. Dr. L. Rybach Institut für Geophysik ETH Zürich
Gasmessungen	W. Hinze (Alberswil)
Labormessungen Porosität, Permeabilität und Dichte	H. Haas und Prof. Dr. A. Matter Geologisches Institut der Universität Bern
Auswertung der Bohrlochgeophysik und Vergleich mit den geothermischen Labormessungen	Dr. W. Leu, Geofom Ltd. (Winterhur)
optischer Bohrlochscanner	Dr. H. Klein, Terra Tec (Heitersheim D)
Kern- und Imlochhammer-Bohrungen	S. Zobic und J. Rüdüsüli, Gebr. Mengis AG (Luzern)
Betreuung BFE	J.-C. Hadorn (Bournes)



### 3 ERGEBNISSE

<i>Geologie</i>	Die 161.2 m tiefe Pilotbohrung ist im Bereich der alpenrandnahen, aufgerichteten Molasse gelegen. Sie durchhörte die gesamte St. Galler-Formation (jüngere Obere Meeresmolasse) und damit ein recht variables Spektrum von Lithologien (Konglomerate, porösere Mittelsandsteine, dichte, gut zementierte Feinsandsteine, sandige und saubere Siltsteine sowie Schlammsteine), die in verschiedene Architektur-Elemente eingeteilt wurden.
<i>Petrophysik</i>	Die im Labor gemessenen Korndichten der Proben variieren zwischen 2730 und 2810 kg/m <sup>3</sup> (geometrisches Mittel 2770 kg/m <sup>3</sup> ), die Nutzporositäten liegen zwischen 3.0 und 11.8% (geometrisches Mittel 5.8%) und die Gesamtporositäten zwischen 3.1 bis 11.9% (geometrisches Mittel 6.3%). Die meisten Proben weisen Permeabilitäten von <0.5 md (< ca. 5·10 <sup>-6</sup> m/s) auf, maximale Werte liegen zwischen 1 bis 6 md (ca. 1·10 <sup>-5</sup> bis 6·10 <sup>-5</sup> m/s).
<i>Hydrogeologie</i>	Durch das Fluid-Logging liess sich für den 144.3m langen, wassergefüllten Bohrlochabschnitt eine Transmissivität T von ca. 2·10 <sup>-7</sup> m <sup>2</sup> /s bestimmen, was einer sehr schwachen Gebirgsdurchlässigkeit k von ca. 1·10 <sup>-9</sup> m/s entspricht. Im stationären Zustand betrug die Förderrate denn auch lediglich 0.3 l/min. Das Wasser entstammt klar definierten, kleineren Zuflüssen im oberen und im untersten Teil des Profils.
<i>Wärmeleitfähigkeiten und -kapazitäten</i>	Die im Labor an 25 getrockneten Bohrkernen gemessenen Wärmeleitfähigkeiten betragen zwischen 2.92 und 4.73 W/m·K (geometrisches Mittel 3.61 W/m·K). Für die Wärmekapazitäten der getrockneten Proben wurden Werte zwischen 1.90 und 2.17 MJ/m <sup>3</sup> ·K (geometrisches Mittel 2.07 MJ/m <sup>3</sup> ·K), resp. 692 bis 782 J/kg·K (geometrisches Mittel 746 J/kg·K) ermittelt. Dies entspricht einer mittleren Wärmekapazität der wassergesättigten Formation von ca. 2.3 MJ/m <sup>3</sup> ·K.
<i>Temperaturgradient</i>	Der im Bohrloch zwischen 10 und 160 m Teufe ermittelte lineare Temperaturgradient beträgt 23.3 K/km. Dabei nahm die Temperatur von 10.0°C in 10 m Teufe bis auf 14.5°C in 161.2 m Teufe zu.
<i>Extrapolation geothermischer Eigenschaften mittels Bohrlochgeophysik</i>	Die auf Grund der sedimentologischen Analyse ermittelten Architektur-Elemente der durchteuften Abfolge waren mittels der Bohrlochgeophysik sehr gut nachvollziehbar. Zusammen mit den Labordaten der Petrophysik sowie der Wärmeleitfähigkeiten und -kapazitäten wurde eine durchgehende geothermische Charakterisierung der wassergesättigten Formation der Pilotbohrung möglich. Die Wärmeleitfähigkeit war am besten auf Grund des Gamma Ray-Logs berechenbar. Die Wärmekapazität dagegen wurde an Hand des Neutron Porositäts-Logs extrapoliert. Die derart ermittelten mittleren Wärmeleitfähigkeiten der wassergesättigten Formation betragen 3.6±0.2 W/m·K, die Wärmekapazitäten lagen zwischen 800 und 850 J/kg·K. Auf Grund der Sedimentologie und der geophysikalischen Extrapolation der geothermischen Eigenschaften erscheint für die numerische Simulation des Speichers eine Dreiteilung des Lithosoms sinnvoll.

Durch die geringen Formationsdurchlässigkeiten und die hohen Wärmekapazitäten der wassergesättigten Formation ist die alpenrandnahe jüngere Obere Meeresmolasse (St. Galler-Formation) am Standort D4 in Root bestens für die Realisation eines geothermischen Diffusionsspeichers geeignet.

### 4 PERSPEKTIVEN UND WISSENSTRANSFER

- Durch die Kombination der gekernten Pilotbohrung mit deren destruktiven Schwester-Bohrungen sowie durch die zugehörigen Untersuchungsprogramme mit neuen Verfahren (Wärmekapazitätsmessungen der ETH, durchgehende Extrapolation der punktuellen Labordaten an Hand der Bohrlochgeophysik, Response Tests) gehört D4 zu den aus geothermischer Sicht wohl am besten untersuchten Lokalitäten. Für andere Projekte dürften insbesondere die Verfahren und Erkenntnisse der Datenextrapolation zur geothermischen Charakterisierung des Lithosoms von grossem Interesse sein.
- Die erstmals für ein Speicher-Projekt im Labor der ETH Zürich in grösserem Umfang gemessenen und mittels Bohrlochgeophysik auf den ganzen Speicher extrapolierten Wärmekapazitäten bildeten eine

unentbehrliche Grundlage für die Auswertung und Berechnung der Reaktionstests (Response Tests) in den beiden Schwester-Bohrungen, mit denen die Wärmeleitfähigkeiten der wassergesättigten Formation in situ gemessen wurden. Die derart ermittelten Wärmeleitfähigkeiten lagen zwischen 3.0 und 3.3 W/m·K (PAHUD 1999) und damit etwas tiefer als die geophysikalisch berechneten.

- Geothermisch erstmals genauer charakterisierbar war die alpenrandnahe Obere Meeresmolasse, die insbesondere für Speicheranlagen gute Qualitäten aufweist. Die Daten werden der schweizerischen Datenbank der Wärmeleitfähigkeiten und der spezifischen Wärmekapazitäten zugeführt (LEU et al. 1999a) und im nächsten Update des Programms SwEWS (LEU et al. 1999b) integriert sein.
- Auf Grund der gewonnenen Daten und der definitiven Energiekennzahlen wird der geothermische Diffusionsspeicher D4 im Detail modellierbar sein.

## 5 BERICHTE UND PUBLIKATIONEN

FISCH, H.-R., ALBERT, W., LUX, K.N., FRICKE, S., STUMP, U., HESS, H. (1999): Bericht zu den geophysikalischen Bohrlochmessungen und zu den Fluid-Logging-Messungen in der Bohrung D4 Längenbold, Root. Solexperts AG, Alber-Donié Geo-Consult-GmbH, BLM-GmbH

HAAS, H. & MATTER, A. (1999): Porositäts- und Permeabilitätsmessungen an Proben der Pilotbohrung D4, Unternehmenszentrum Längenbold, Root LU. - Geologisches Institut Universität Bern.

KELLER, B. (in Vorb.): Pilotbohrung und Pilotsonden für den geothermischen Diffusionsspeicher. Geologie und zusammenfassender Untersuchungsbericht. - Mengis + Lorenz AG, Luzern.

LEU, W. (1999): Logauswertung – Geothermische Eigenschaften. Pilotbohrung für geothermischen Diffusionsspeicher. – Geoform AG, Winterthur.

SCHÄRLI, U. & RYBACH, L. (1999): Wärmeleitfähigkeits- und Wärmekapazitäts-Messungen an Bohrkernen (OMM). - Institut für Geophysik ETH Zürich.

Es ist beabsichtigt, die Resultate der Untersuchungen durch eine Publikation einem breiteren Fachpublikum zugänglich zu machen.

### *Zitierte Literatur*

LEU, W., KELLER, B., MATTER, A., SCHÄRLI, U. & RYBACH, L. (1999a): Geothermische Eigenschaften Schweizer Molassebecken (Tiefenbereich bis 500 m). – Programm Geothermie, Schlussbericht i. A. Bundesamt f. Energie.

LEU, W., KELLER, B., MÉGEL, T., SCHÄRLI, U. & RYBACH, L. (1999b): PC-Programm für die Berechnung geothermischer Eigenschaften der Schweizer Molasse (Tiefenbereich 0 - 500 m). – Programm Geothermie, Schlussbericht i. A. Bundesamt f. Energie.

PAHUD, D. (1999): Etude pilote pour les bâtiments du centre suva Lucerne. Analyse des réponses de 2 sondes tests et optimisation du stockage diffusif. Rapport intermédiaire. – Office fédéral de l'énergie, Suisse.