

# Kontinuierliche Aktivitäten am Europäischen EGS Standort Soultz-sous-Forêts

Thomas Mégel, Thomas Kohl

Das Europäische Hot Dry Rock<sup>1</sup> Projekt in Soultz-sous-Forêts, Frankreich, ist das zur Zeit grösste und am weitesten fortgeschrittene geothermische Projekt zur Erzeugung von Strom aus grosser Tiefe. Drei 5000 m tiefe Bohrungen sind abgeteuft, die in der Endtiefe jeweils einem Abstand von etwa 500-600 m zueinander haben. In diesem Bereich, der im Schnitt eine Temperatur von etwa 200°C aufweist, wurde die Durchlässigkeit des geklüfteten Gesteins in den vergangenen 5 Jahren schrittweise künstlich erhöht. Zur Zeit läuft nun ein Zirkulationstest, um die Wärmeproduktivität des so erschlossenen Reservoirs zu testen.

## Das Projekt bis 1997

Das Projekt befindet sich am westlichen Rand des Rheingrabens, im äussersten Norden des Elsass. Dass die Wahl auf diesen Standort fiel, ist nicht zufällig: Der Wärmefluss an der Oberfläche ist sehr hoch, und der Untergrund ist durch eine Vielzahl von alten Erdölbohrungen gut erschlossen. Der relativ hohe Wärmefluss liess auf tiefliegende Konvektionszellen schliessen, die eine bereits anfänglich vorhandene Durchlässigkeit des Untergrundes vermuten liess.

Seit dem Projektbeginn im Jahre 1987 wurden die Tests für die Entwicklung der EGS-Technologie schrittweise in grössere Tiefen, und damit in einen zunehmend interessanteren Temperaturbereich, verlegt. So bestehen heute am Standort Reservoirs in 2000 m, in 3500 m und in 5000 m Tiefe. Das Reservoir in 3500 m Tiefe wurde in den Jahren 1993 und 1995/96 durch hydraulische Injektion stimuliert. Durch die dabei angewendeten Ueberdrücke von 9-11 MPa wurden die natürlich vorhandenen Klüfte im Zielbereich gesichert, wodurch eine entscheidende Erhöhung der lokalen Durchlässigkeit erreicht wurde. Der erste Zirkulationstest an diesem Projektstandort wurde 1997 über 3 Monate durchgeführt, der eine gleichbleibende Wärmeproduktivität von ca. 7 MWth des 3500 m tiefen Systems ergab. Die Erfahrungen, die in allen Aspekten der Entwicklung der EGS-Technologie auf 3500 m Tiefe gemacht wurden, erlaubten es, die Arbeiten zur Erzeugung und Erschliessung eines Reservoirs in 5000 m Tiefe zu starten.

## Das Reservoir in 5000 m Tiefe

Seit 1998 konzentrieren sich die Projektaktivitäten auf den Tiefenbereich von 5000 m. Heute sind drei Bohrungen von je 5000 m Tiefe (GPK2/GPK3/GPK4) abgeteuft. Der Bereich zwischen den drei offenen Bohrlochsektionen wurde im Jahr 2000, 2003 und 2004/2005 stimuliert. Dabei hat sich gezeigt, dass die benötigten Überdrücke um die Klüfte zur Scherung zu bringen, in derselben Grössenordnung liegen wie beim höher gelegenen Reservoir in 3500 m Tiefe. Die kleinen Erschütterungen, die bei der Scherung der Klüfte entstanden, wurden messtechnisch erfasst, womit sich die Lokationen der sich öffnenden Klüfte im Untergrund bestimmen liessen. Diese «Wolke» von Scherlokationen zeigt eine Reservoirausdehnung von 2500x1000x1000 m (NSxEWxTiefe). Die Evaluation der effektiven Durchlässigkeitsverteilung innerhalb dieses Reservoirbereiches, die eine wichtige Grösse für die Planung der künftigen Nutzung darstellt, ist Gegenstand von ausgedehnten Untersuchungen mit komplexen numerischen Methoden. Dazu werden – zum Teil bereits während der Tests – eine Vielzahl von gemessenen Daten ausgewertet, wie Druckverläufe und Injektionsraten, Dichte und Temperatur der injizierten Fluide, Entwicklung der entsprechenden Scherlokationen, Bohrlochlogs und Tracerkurven. Seit über 15 Jahren werden diese Auswertungen massgeblich auch von Schweizer Forschungsgruppen mitgetragen und regelmässig an internationalen Konferenzen publiziert. Insbesondere in der Ent-

wicklung von neuen numerischen Tools zur Interpretation und Prognose von Reservoirverhalten werden bedeutende Fortschritte erzielt. So gelang es der Geowatt AG die Hydraulik und die Kluftschörungen während der Anfangsphase der Stimulation von GPK4 zu prognostizieren.

## Aktuelle Aktivitäten

Wer heute nach Soultz-sous-Forêts kommt, wird feststellen, dass der vertraute Bohrturm am Projektstandort einer ausgeklügelten Testanlage für die drei Tiefbohrungen gewichen ist. Nach der Installation der Injektions- und Produktionsanlage im Juni 2005 wurde mit dem Zirkulationstest für die hydraulische und thermische Charakterisierung des 5000 m tiefen Reservoirs begonnen. Dabei wird zur Zeit aus den beiden Bohrungen GPK2 und GPK4 lediglich durch den sogenannten Thermosyphon-Prozess, d.h. rein durch den thermischen Auftrieb des Reservoirwassers ohne Pumpe, Tiefenwasser produziert, in einem Wärmetauscher abgekühlt und in GPK3 wieder injiziert. Ende Juli 2005 wurde dabei ein Tracertest durchgeführt, um die Art der hydraulischen Verbindungen zwischen den Bohrungen im Untergrund zu evaluieren. Verschiedene Auswertungen haben nun begonnen, die zur Auslegung der weiteren Tests benötigt werden. Als kritisch erwies sich insbesondere die Bestimmung des Produktivitäts-Index von GPK2 und GPK4. Diesbezügliche Berechnungen wurden mit dem Bohrloch-Simulator



Aus dem Separator austretender Dampf während des Zirkulationstests, Juli 2005  
Vapeur d'eau sortant du séparateur pendant le test de circulation, juillet 2005

(photo GEOWATT AG)

<sup>1</sup> Anstelle von Hot Dry Rock (HDR) wird heute international der Begriff «Enhanced Geothermal System» EGS) verwendet.

der Geowatt AG durchgeführt, die gezeigt haben, dass eine exakte Datenerfassung dazu entscheidend ist.

Zu Recht darf festgestellt werden, dass mit dem Erreichen der jetzigen Testphase für das 5000 m tiefe Reservoir ein bedeutender Meilenstein in der Entwicklung der EGS-Technologie erreicht worden ist, auf den alle Beteiligten mit Stolz blicken dürfen.

## Referenz

T. Kobl, T. Mégel, *Coupled hydro-mechanical modelling of the GPK3 reservoir stimulation*, Stanford Geothermal Workshop, 2005 (Zum Herunterladen unter <http://www.geowatt.ch/new.php>)

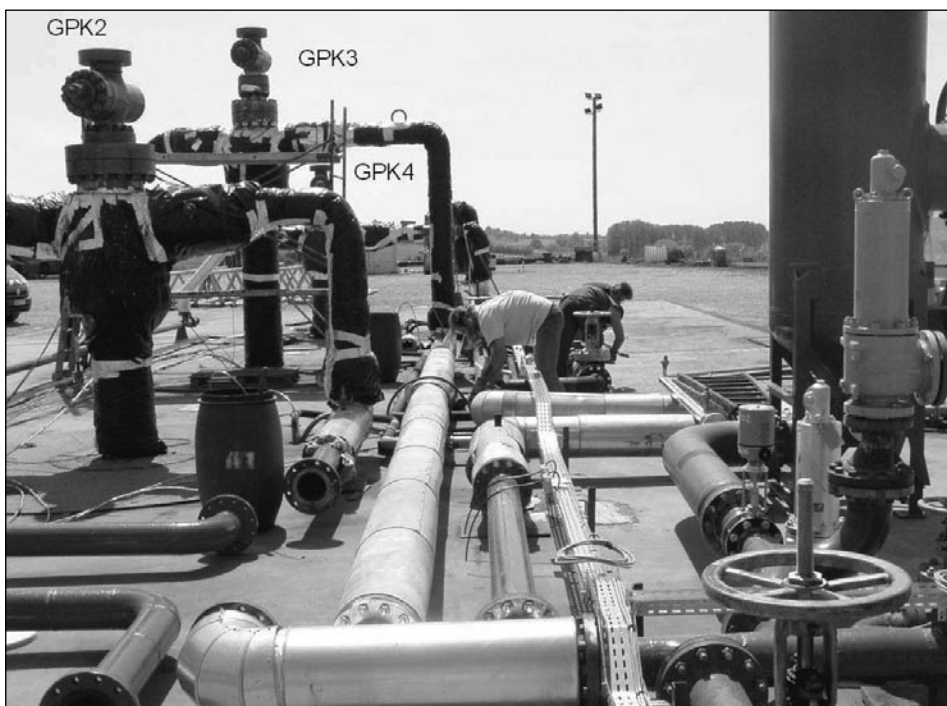
## Zusammenfassung

Das Europäische Hot Dry Rock Projekt wurde vor fast 20 Jahren begonnen. Seitdem wurden Reservoirs in 2000 m, 3500 m und 5000 m Tiefe nutzbar gemacht. Zum Erzielen einer ausreichend hohen Kluftdurchlässigkeit wurden im Zielbereich die natürlich vorhandenen Klüfte mit 9 bis 11 MPa gesichert. Die 1997 im Reservoir auf 3500 m tief durchgeführten Zirkulationstests ergaben eine kontinuierliche Wärmeproduktivität von 7 MWth. Seit 1998 konzentrieren sich die Untersuchungen auf das tiefste Reservoir in 5000 m Tiefe. Auch hier ermöglichten Überdrücke zwischen 9 und 11 MPa ein Scheren der Klüfte und die Ausbildung einer Reservoirausdehnung von 2500x1000x1000 m Grösse. Die wichtigste Grösse – die hydraulische Durchlässigkeit – ist Gegenstand aktueller numerischer Modellrechnungen sowie vielfältigster hydraulischer und geophysikalischer Tests. Seit Juni 2005 dienen zwei Bohrungen innerhalb des 5000 m tiefen Reservoirs zur Durchführung von Zirkulationstests in einem Temperaturniveau von 200 °C. Ein Grossteil der numerischen Modellrechnungen zur Reservoircharakterisierung wurde bei der Geowatt AG in Zürich durchgeführt.

## Résumé

Le projet européen Hot Dry Rock a débuté il y a presque 20 ans. Depuis lors, des réservoirs utilisables furent créés à des profondeurs de 2000, 3500 et 5000 mètres. Afin d'obtenir une perméabilité de fissure suffisante, on a cisailé les discontinuités existantes à la profondeur cible, sous des pressions de 9 à 11 MPa. Les tests de circulation de 1997, réalisés à 3500 mètres de profondeur, permirent une production continue de chaleur de 7 MWth.

Depuis 1998, les investigations se concentrent sur le réservoir le plus profond, à 5'000 mètres. Là aussi, les surpressions entre 9 et 11 MPa provoquent le cisaillement des discontinuités et conduisent à la création d'un réservoir qui s'étend sur 2500 x 1000 x 1000 mètres. Le facteur le plus important – la conductivité hydraulique – est appréhendé par des calculs sur un modèle numérique récent et fait en outre l'objet de nombreux tests hydrauliques et géophysiques. Depuis juin 2005 on dispose de deux forages au sein du réservoir à 5000 mètres, permettant d'effectuer les tests de circulation à une température de 200°C. Une grande partie des calculs sur modèle numérique, visant la caractérisation du réservoir, fut exécutée auprès de Geowatt AG à Zurich.



Installation der für den Zirkulationstest benötigten Verbindungen an den Bohrlochköpfen von GPK2, GPK3 und GPK4  
Mise en place des raccords entre les têtes des puits GPK2, GPK3 et GPK4 en vue des tests de circulation  
(photo GEOWATT AG)

Erdsonden- und Wasser-Wasser-Wärmepumpen von CTA.

# Ganz schön clever, die neuen Wärme- pumpen von CTA!

mit 63 °C Heiztemperatur  
die Lösung für Sanierungen

vom Buwal empfohlen: FCKW-  
freies Sicherheitskältemittel

heizt ressourcenschonend  
mit erneuerbarer Energie

läuft äusserst  
geräuscharm

Gutesiegel

aufregend gestylt,  
passt in jeden Keller

**CTA**

■ Klima ■ Kälte ■ Wärme

CTA AG in • Bern • Zürich • Basel • Lausanne  
Hauptsitz: CTA AG, Hunzikenstrasse 2, 3110 Münsingen  
Telefon 031 720 10 00, Fax 031 720 10 50, Internet [www.cta.ch](http://www.cta.ch)