

EGS Erste Erfolge bei der Vorhersage von Stimulationen

Komplexe Interaktionen, welche bei hydraulischen Stimulationen von EGS-Reservoiren auftreten, konnten bisher nur grob quantifiziert werden. Mit einer neuen Software steht nun ein angemessenes Instrument zur Prognose zur Verfügung.

> Prof. Thomas Kohl
> Dr. Thomas Mégel
Geowatt AG
Dohlenweg 28
CH-8050 Zürich
T 044 242 14 54
kohl@geowatt.ch
www.geowatt.ch

Das Europäische EGS-Projekt im elsässischen Soultz-sous-Forêts stellt eine weltweite Referenz für die Erforschung und Entwicklung von geothermischen Reservoiren dar. So wurden vor etwa 10 Jahren ein ca. 3.5 km tiefes Reservoir und in den letzten Jahren das 5 km tiefe Reservoir erzeugt und getestet. Dabei zeigte sich, dass die ursprüngliche, beim Bohren angetroffene Durchlässigkeit des Gesteins für einen Betrieb nicht ausreichend war und mit massiven Injektionen – so genannter hydraulischer Stimulation – erhöht werden musste.

Aufzeichnen der mikroseismischen Wolke

Durch das Verpressen von Wasser unter hohem Druck werden im Gestein Scherbewegungen verursacht, die man als Mikrobenen registrieren kann. Durch das Aufzeichnen dieser mikroseismischen Wolke lässt sich die Entwicklung eines EGS-Reservoirs in Raum und Zeit verfolgen. Man beobachtet in der Regel ein Ansteigen der Mikroseismizität bei einer Erhöhung der Fliessrate sowie das Anwachsen dieser mikroseismischen Wolke mit der Dauer der Injektion. Bei einer genauen Analyse der Ausdehnung dieser Wolke

lassen sich einzelne Strukturen auflösen, welche aufgrund ihrer charakteristischen Orientierung als Kluffstrukturen in grösserer Entfernung vom Bohrloch interpretiert werden können. Das Anwachsen der Mikroseismizität läuft dabei nicht gleichmässig, sondern «schubweise» ab. Die Bedeutung, welche die hydraulische Stimulation für die Erstellung von EGS-Reservoiren besitzt, führte in unterschiedlichen Arbeitsgruppen zu der Entwicklung von numerischen Computer-Werkzeugen, die ein besseres Verständnis der Vorgänge im Reservoir erlauben. Bislang standen hier nur analytische Abschätzungen oder vereinfachte Kluffmodelle zur Verfügung, welche für die Stimulation von Erdöllagerstätten gebraucht werden. Im Gegensatz zu den induzierten Scherbewegungen bei bestehenden Klüften kann dort auch das Erzeugen von neuen Klüftungen durch Aufbrechen von intaktem Gestein dominieren («hydraulic fracturing»).

Die neu entwickelte Software

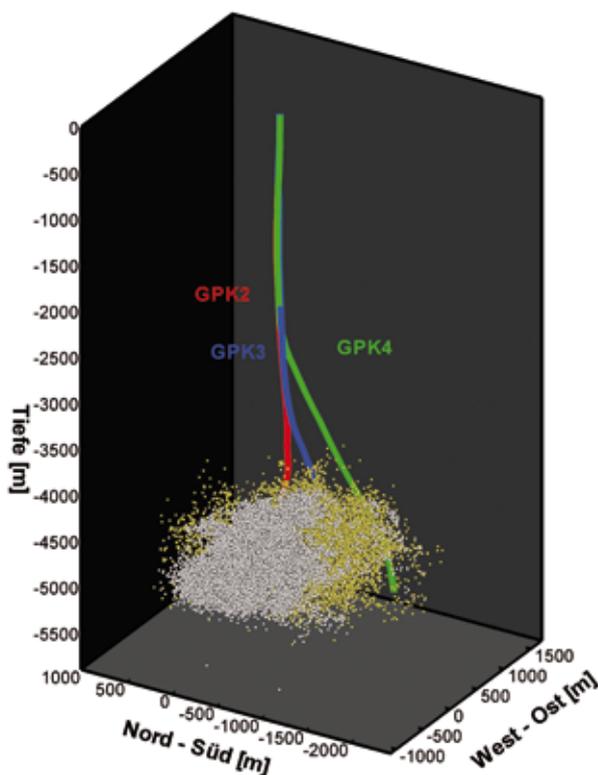
Eine Arbeitsgruppe der Geowatt AG in Zürich beschäftigt sich seit mehreren Jahren mit der Entwicklung von numerischen Werkzeugen zur Charakterisierung von EGS-Systemen. In den letzten Jahren kam die neu entwickelte Software HEX-S zum Einsatz, welche speziell auf die Bedürfnisse von hydraulischen Stimulationen im geklüfteten Gestein abgestimmt ist. So werden die komplexen Interaktionen von hydraulischen und kluffmechanischen Prozessen, genauso wie die verzweigten Strukturen von Klüftigkeiten und Störungszonen im Untergrund, in die Berechnung einbezogen. Durch die Berücksichtigung der vielschichtigen Messdaten und insbesondere der Lage von Kluffstrukturen und Spannungskomponenten im 3D-Untergrund unterscheidet sich diese Anwendung von vielen Vorgängermodellen und erlaubt auch die Darstellung der zeitlichen Entwicklung eines Reservoirs.

Einsatz im Elsass

Basierend auf einer ersten Nachinterpretation der hydraulischen Stimulation des Gesteins um die Bohrung GPK3 in Soultz vom 27. Mai 2003 wurde die wesentlich anspruchsvollere Aufgabe der «Vorhersage» einer Stimulation aufgenommen. Im Rahmen einer universitären Zusammenarbeit wurden Logs der im Jahr 2004 erstellten GPK4 Bohrung (UBI Daten und Flowmeter) aus-

>> Mikroseismische Wolke um die Bohrungen GPK2 (rot) und GPK3 (blau). Zu diesem Zeitpunkt war das Reservoir um GPK4 (grün) noch nicht stimuliert (EGS-Projekt Soultz-sous-Forêts).

>> Nuage microsismique autour des forages GPK2 (en rouge) et GPK3 (en bleu). A cette période, le réservoir autour de GPK4 (en vert) n'était pas encore stimulé (projet EGS de Soultz-sous-Forêts).

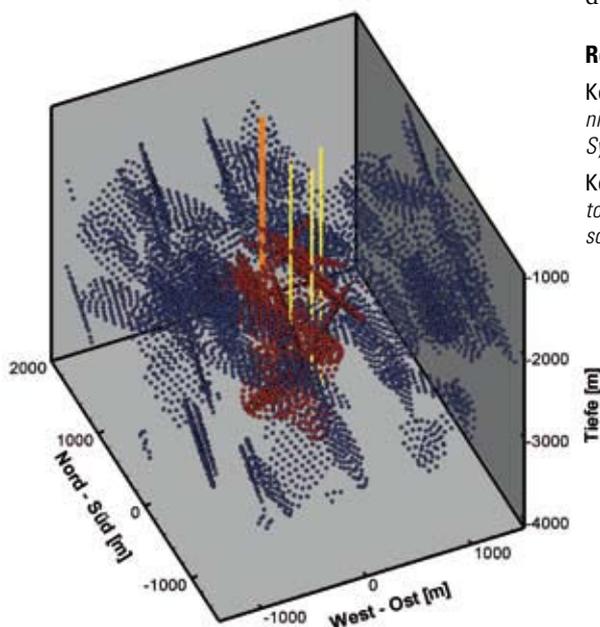


gewertet und für das HEX-S Modell aufbereitet. Ziel war es, aus bestehenden Messdaten und geologischen Interpretationen sowie einem initialen Fliesstest, das zeitliche Verhalten von Druck und Mikroseismizität zu prognostizieren.

Trotz einer geringen Vorlaufzeit (der Fliesstest wurde nur wenige Tage vor der Stimulation durchgeführt) konnten bis zu Beginn der Stimulation am 4. September 2004 drei unterschiedliche Szenarien berechnet werden. Die ursprünglich geplanten Fliesraten von 30 und 45 l/s konnten aufgrund von Pumpenproblemen auf der Stufe mit 45 l/s nur kurzzeitig gehalten werden. Trotz einer etwa 30-prozentigen Überschätzung des Druckniveaus waren viele der später angetroffenen Merkmale der Stimulation gut charakterisiert worden. Für den entscheidenden ersten Tag konnte der Haupteinsatz der Scherbewegungen, die zeitliche Entwicklung von Druck und von Muster/Ausdehnung der Mikroseismizität prognostiziert werden. Insbesondere waren die Entstehung der ersten Scherbewegungen am tiefsten Punkt des Bohrlochs und das zeitliche Wandern auf der Nordseite der Bohrung hin zum Casing-Schuh sehr genau vorhergesagt. Auf Basis dieser Berechnungen wurde u.a. folgende Empfehlung an das Projektmanagement für weitere Stimulationen gegeben: 1) Beschränkung auf Kurzeitests mit zyklischen Injektionen und 2) schneller Druckabbau nach Injektionen.

Breites Interesse an Simulationsmöglichkeiten

Diese neuen Entwicklungen wurden nicht nur an den wissenschaftlichen Workshops in Soultz präsentiert, sondern stiessen auch bei der Erdölwirtschaft auf reges Interesse. Es erfolgten Einladungen an internationale wissenschaftliche Konferenzen (z.B. San Francisco 2005) und zur Teilnahme an EU-Forschungsprogrammen (z.B.



Résumé

Jusqu'à présent, les interactions complexes ayant lieu pendant les phases de stimulation hydraulique des réservoirs EGS n'étaient que grossièrement quantifiées. Avec le développement récent de la série de logiciels HEX-S, un nouvel outil pour la stimulation du réservoir de Soultz-sous-Forêts à la profondeur de 5 km est disponible. Cet outil a permis de pronostiquer le régime de pression transitoire ainsi que le développement du nuage de microsismicité. Ceci rend possible à l'avenir une optimisation de la stratégie de stimulation.

ENGINE). Daraufhin wurde HEX-S ebenfalls für das EGS-Projekt Coso (USA) eingesetzt. Diese Tätigkeiten zeigen, dass es künftig auch möglich sein wird, Injektionsszenarien für einen spezifischen Untergrund zu bewerten und zu optimieren. Beispielsweise kann die mögliche Auswirkung von konstantem, lang andauerndem Verpressen mit zyklischem Verpressen verglichen werden. Notwendig dazu ist ein integriertes Vorgehen mit einem abgestimmten Messkonzept.

Die Technologie der kontrollierten Reservoir-Erzeugung steht noch am Anfang. Diese ist aber für einen kommerziellen Durchbruch von EGS-Anlagen entscheidend. Die Entwicklung von neuen Werkzeugen für die Interpretation und Prognose des zeitabhängigen, hydromechanischen Verhaltens des Untergrundes ist ein wichtiger Schritt dazu.

Die Berechnungen für das EGS-Projekt in Soultz-sous-Forêts konnten aufgrund der finanziellen Unterstützung des Staatssekretariats für Bildung und Forschung (SBF) und des Bundesamts für Energie (BFE) im Rahmen eines EU-Projektes durchgeführt werden. <

Referenzen

Kohl T., Baujard C., Mégel T., 2006, *Conditions for Mechanical Re-Stimulation of GPK4, Soultz Scientific Meeting, Synthetic 2nd year report*

Kohl T., Mégel T., *Predictive modelling of reservoir response to hydraulic stimulations at the European EGS site Soultz-sous-Forêts, Int. J. of Rock Mechanics, in Press*

>> Typische Klüftstrukturen, die mit HEX-S generiert worden sind. Es werden sowohl deterministische (entlang der Bohrung beobachtete) Klüfte als auch stochastische (extrapoliert aus statistischen Daten) Klüfte berücksichtigt (EGS-Projekt Coso, USA).

>> *Des structures typiques de fractures ont été générées par HEX-S. Des fractures déterministes (observées le long du forage) et aussi stochastiques (extrapolées à partir des données statistiques) ont été prises en considération (projet EGS de Coso, USA).*

>> Bilder: Geowatt AG, Zürich