

F. KUHNKE

### Geoelektrische Ortung künstlicher Rißflächen im Untergrund

Über die Ortung künstlicher Rißflächen im Untergrund von der Erdoberfläche aus wurde schon bei früheren Kolloquien (Neustadt 78, Berlin 80) berichtet. Damals standen mehr theoretische und meßtechnische Probleme im Vordergrund. Heute, nach Ablauf des Projektes, sollen diesem Kreise, gewissermaßen abschließend, die Ergebnisse einiger Feldmessungen vorgetragen werden.

Das Projekt ordnete sich ein in die vom BMFT unterstützte alternative Energieforschung, speziell die der Extraktion von Erdwärme aus heißem trockenem Gestein (engl. hot dry rock). Hierzu wurde in Falkenberg (Oberpfalz) auf kristallinem Untergrund ein von mehreren Projektpartnern genutztes Testgelände eingerichtet. An mehreren Flachbohrungen (Maximalteufe bis Ende 1983: 300 m) wurden eine Vielzahl hydraulischer Versuche zum Brechen von Gestein, dem Fließverhalten durch diese Bruchzonen etc. durchgeführt. Unsere Aufgabe bestand darin, das Azimut der sehr wahrscheinlich vertikal stehenden, hydraulisch erzeugten Risse von der Erdoberfläche aus zu bestimmen.

Die ursprüngliche Projektkonzeption sah in einer Phase II eine Vertiefung der Bohrungen um ein Vielfaches vor. Die zwangsläufig größere Teufe der Risse hätte aber sehr schwache, kaum detektierbare Felder an der Erdoberfläche zur Folge gehabt. Deshalb wurde bei unseren theoretischen Vorarbeiten schon bald eine Wechselstromanwendung favorisiert. Diese würde es erlauben die schwachen Signale der sehr tief gelegenen Inhomogenität aus dem technischen und tellurischen Störnebel herauszufiltern.

Nach einigen zeitraubenden Wechselstrom-Feldmessungen mit nur einem Lock-in-Verstärker, gleich nach dem Abteufen der Zentralbohrung HB4a, Abb. 1, mußte dieses Verfahren zurückgestellt werden. Es zeigte sich nämlich, daß für die Erfassung der kleinen Feldänderungen quasi Sofortaufnahmen der Potentialverhältnisse um das zentrale Bohrloch nötig wären. Diese hätten für eine vernünftige Winkelauflösung von unter 10 Grad aber wenigstens 30, eher mehr, solcher Meßverstärker erfordert; eine unerschwingliche Investition.

Gleichzeitig rückte das Verteufen der Bohrungen in weite Ferne. Alle Versuche und Messungen würden also weiterhin an den bestehenden Flachbohrungen vorgenommen werden.

Es lag deshalb nahe, weitere Messungen doch mit Gleichstrom durchzuführen. Hierfür konnte ein recht einfaches, rechnergesteuertes Akquisitionssystem aufgebaut werden. Mit einer handvoll Relais wurde zunächst eine solche Anlage für 64 Meßstellen erstellt. Die 64 Meßwerte konnten hiermit in knapp einer Minute erfaßt werden. Durch diese außerordentliche Steigerung der Meßgeschwindigkeit waren nun auch zeitliche Veränderungen der Potentiale im Minutenbereich detektierbar.

Mit dieser Anlage wurden begleitende Messungen während verschiedener Rißöffnungen mit unterschiedlichen Medien: Süßwasser, Luft, Salzwasser (Falkenberg, Oktober 82), einer Rißerzeugung (Bad Abbach, Mai 83) und bei einer Rißerweiterung (Falkenberg, August 83) durchgeführt. Die Ergebnisse sollen hier anhand einiger Abbildungen knapp dargestellt werden.

Im Gegensatz zu der Wechselstrommessung (April 1979) am gerade erstellten Bohrloch, also ohne jeden Riß, Abb. 1 (vergl. auch KUHNKE 1982), zeigte bereits die erste Gleichstrommessung am nunmehr bestehenden Rißsystem im Falkenberger Testgelände (Oktober 82) eine ausgeprägte Leitfähigkeitsanisotropie. Sie markiert sich durch zwei oppositionelle Minima der an der Erdoberfläche gemessenen Radialkomponente des elektrischen Feldes: Abb. 2. Dargestellt ist die auf den Speisestrom normierte SONDENSspannung entlang des Doppelkreisprofils ( $r_1, r_2 = 50, 75$  m) über den Meßpunktnummern; etwa im Norden mit MP1 beginnend aus insgesamt 26 Messungen. Der räumlichen Tiefe entspricht die zeitliche Abfolge der einzelnen Messungen.

Die Minima bei MP21 und MP51 deuten auf einen guten Leiter, sehr wahrscheinlich den wassergefüllten Riß, hin und fallen exakt mit der seismisch bestimmten Rißrichtung von 110 Grad zusammen, LEYDECKER 1980.

Diese Messungen wurden während einer zweiten Druckluftinjektion in das Rißsystem gemacht; unterscheiden sich aber von Messungen während der Süß- oder Salzwasserinjektionen an den Vortagen quantitativ fast nicht, qualitativ, also hinsichtlich der Kontur, überhaupt nicht. Der Abbildung können wir, von dem erklärlichen Sprung bei MP8 (NB2) abgesehen, auch eine weitgehende Konstanz der Potentialverteilung um die Bohrung entnehmen.

Die Erhaltungsneigung der Potentialverteilung bestand für alle Messungen während des gesamten Experimentierzeitraumes!

Auch bei einer Rißerweiterung (August 83) wurde der bekannte Verlauf der Potentialdifferenzen wieder vorgefunden, Abb. 3. Hier sind alle Messungen mit ihren Streuungen aufgetragen. Durch

die verstärkte Wasserinjektion kam es jedoch zu Veränderungen des Rißsystems: Neben die bisher vorhandenen zwei Minima traten zwei weitere bei MP27 und MP49. Besonders die zeitliche Entwicklung beim Erstgenannten deutet hier auf eine Systemerweiterung hin. Trägt man die Änderungen der Potentialdifferenzen gegenüber dem gleitenden Mittel aller vorangegangenen Meßwerte eines MPes auf, zeigt sich der Rißdurchbruch besonders plastisch, Abb. 4.

Zusammenfassend darf man sagen:

- Bei hydraulisch neu eröffneten Rissen kann, sofern bestimmte Randbedingungen für Rißtiefe, - weite und Injektionsvolumen eingehalten werden, die azimutale Ortung dieses Risses von der Erdoberfläche aus vorgenommen werden. Als experimentelle Verifikationen dafür dürfen die Messungen in Falkenberg und Bad Abbach gelten; über Letztere konnten wegen der Kürze der verfügbaren Zeit nicht mehr vorgetragen werden.
- Das einmal vorhandene Rißsystem führt zu einer dauerhaften elektrischen `Anisotropie` des Untergrundes und manifestiert sich durch eine ausgeprägte Kontur des auf konzentrischen Kreisen um die Injektionsbohrung gemessenen elektrischen Feldes. Diese Kontur blieb hier im Falkenberger Experimentierfeld unbeeinflusst von verschiedenen Injektionsmedien, Salz-, Süßwasser und Luft; sie blieb sogar über einen Zeitraum von zehn Monaten qualitativ und quantitativ erhalten.
- Ist das die Frac-Bohrung umgebende Gelände zugänglich und können die bekannten Randbedingungen eingehalten werden, bietet das untersuchte geoelektrische Verfahren neben der Seismik eine besonders preiswerte Ortungsmethode. Es wäre wünschenswert, sie auch weiterhin bei möglichst vielen Frac-Jobs einzusetzen. Nicht unerwähnt bleiben darf die Empfindlichkeit des Verfahrens für oberflächennahe Effekte besonders in Sonden-nähe. Dazu gehören der Aufbau anderer Experimente, das Verlegen von Stromversorgungskabeln, Fahrzeugbewegungen auch Wasseraustritt u. dergl. .
- Die Auswertung der Ergebnisse könnte, sofern ein entsprechender Kleinrechner zur Verfügung stünde der neben der Datenakquisition zeitgleich auch deren Verarbeitung übernehmen kann, in einer bescheidenen Form bereits im Felde erfolgen. Auf diese Weise ließen sich Störungen bzw. störende Beeinflussungen des Systems schneller erkennen und beheben.

Abschließend noch ein Hinweis: Gemeinsam mit den Ergebnissen der anderen Projektpartner im Experimentierfeld Falkenberg sollen

sämtliche Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens in einem Sammelband veröffentlicht werden.

#### Literatur

LEYDECKER G., Seismische Ortung hydraulisch erzeugter Brüche im Geothermik Frac Projekt Falkenberg, BGR Publikation, Archiv-Nr.: 86 549, März 1981.

KUHNKE F., Die Ortung künstlicher Rißflächen im Untergrund nach der Mise à la Masse - Methode mit Gleich- und Wechselstrom, Diss. Naturwiss. Fakultät TU-Braunschweig, 1982.

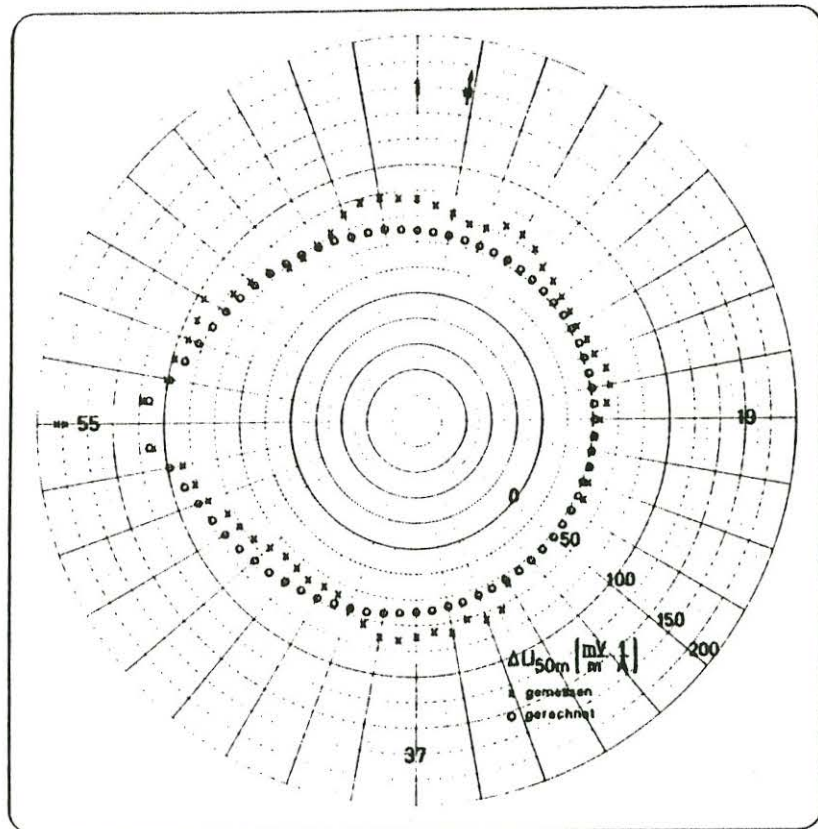


Abb. 1 Wechselstrommessung (April 79) um die gerade erstellte Bohrung HB4a: Meßwerte (x), errechnete Werte (o). Es sind hier keine auffälligen Anisotropien der Leitfähigkeit zu erkennen. Die größeren Meßwerte im Westen sind eine Folge der stärkeren Kopplung von Meß- und Stromkreis; hier verläuft das Kabel zur Gegenelektrode; vergl. auch KUHNKE 1982.

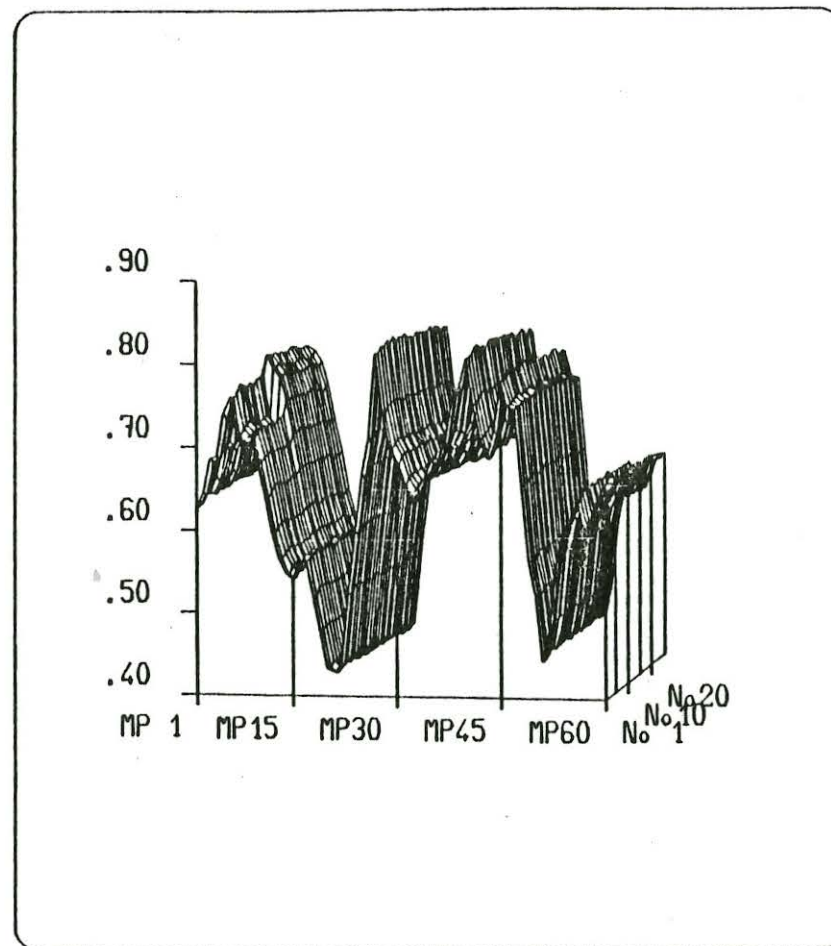
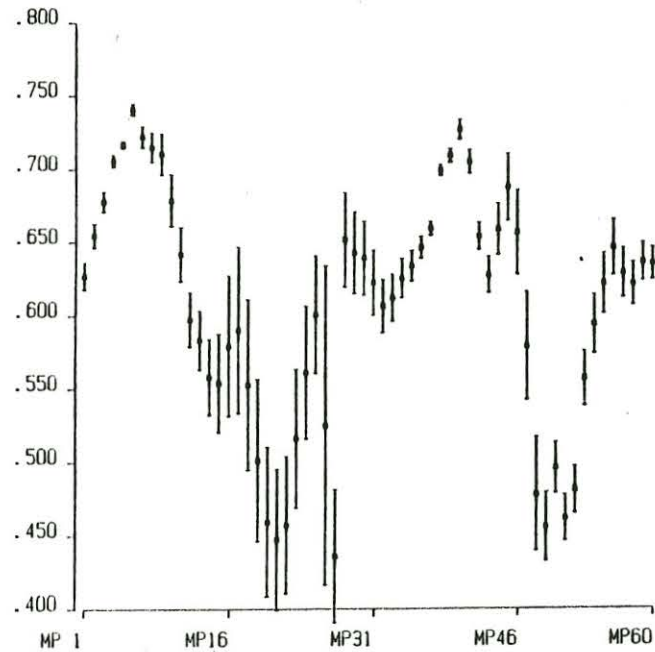


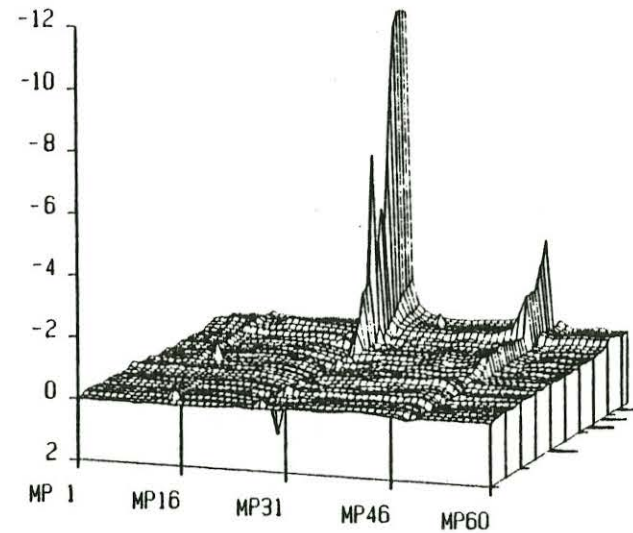
Abb. 2 82OCT14/GEOEL - Falkenberg: Normierte Fremdpotentialdifferenzen über dem abgewickelten Kreisprofil. Einspeisung: Bohrung HB4a; Status: Zweite Druckluftinjektion. Messungen No. 10, 11, ..., 26 und 31, ..., 39. Der Sprung im Bereich der MPe 7 und 8 nach 11 Messungen korreliert mit dem Anschluß eines Stromversorgungskabels an ein Meßfahrzeug einer weiteren Experimentatorengruppe bei Nebenbohrung NB2.



83AUG19/GEDEL - Falkenberg  
Mittelwerte und Streuungen  
Fremdpotentialdifferenzen [V]  
auf dem Innenkreis

IGM

Abb. 3 83AUG19/GEDEL - Falkenberg: Mittelwerte und Streuungen, wie vor, aller 121 Messungen der Fremdpotentialdifferenzen auf dem Innenkreis. Die Geometrie des Aufbaues ist mit der der Abb. 2 identisch.



83AUG19/GEDEL  
Innenkreis No. 34 - 82  
% Abweichungen vom GM

IGM

Abb. 4 Zusammenschau der Abweichungen der Sondenspannungen aus den Messungen No. 34 - 82 des Innenkreises vom gleitenden Mittelwert der jeweils vorangegangenen eines Meßpunktes. Die Rißerweiterung in Richtung MP 27 ist deutlich zu erkennen.