

F. KUHNKE

"Potentialmessungen zur azimuthalen Ortung künstlicher Risse im Untergrund"

Im Rahmen eines von der EG und dem BMFT geförderten Hot Dry Rock Projektes in Falkenberg/Oberpfalz konnten dort im Herbst 1979 Potentialmessungen nach der "Mise à la Masse"-Methode durchgeführt werden. Ziel der Untersuchungen war es, einen im Kristallin in ca. 250 m Tiefe erzeugten (vertikalen) künstlichen Riß (Frac) zu orten, d.h. seine azimuthale Lage an der Erdoberfläche zu bestimmen. Die Messungen wurden mit einer Anordnung gemäß Abb. 1 durchgeführt: Die Einspeisung von Wechselstrom (400 Hz) erfolgte über eine ca. 2,5 km entfernte Gegenelektrode und die Bohrlochelektrode. Letztere wurde durch das Druckgestänge und den oberen Packer hindurch in den Bereich der Fracspur auf 253,5 m herabgelassen. Die Potentialmessungen wurden entlang zweier konzentrischer Kreise um die Bohrung (Radien 150 m u. 200 m) ausgeführt. Gemessen wurde, bei einem Zentriwinkel von 5° , die Potentialdifferenz in radialer und quasitangentialer Richtung, d.h. zwischen zwei Punkten entlang eines Radius auf dem Innen- bzw. Außenkreis sowie zwischen zwei benachbarten Punkten nur auf dem Innenkreis. Als Meßgerät diente ein Lock-in Verstärker, er gestattet Betrag und Phase zu erfassen - die nötige Referenzfrequenz wurde per Funk vom Generator zur Meßstelle übertragen. Während jeder Einzelmessung wurde außerdem der Speisestrom (ca. 500 mA) registriert. Die Messungen erfolgten einmal im entspannten Zustand zum anderen im aufgepumpten Zustand des Risses; wobei das eingepumpte Wasser in der Nähe der Bohrlochelektrode die elektrischen Eigenschaften des Systems verändern würde. So konnte z.B. gleich nach dem Aufpumpen des Frac ein Stromanstieg um 10% konstatiert werden. Auch die Ergebnisse der Potentialmessungen an der Erdoberfläche sollten von der Leitfähigkeitsänderung in Rißnähe beeinflusst werden ($\rho_{\text{Wasser}} \approx 20 \Omega\text{m}$, $\rho_{\text{Gestein}} > 1000 \Omega\text{m}$): Abb. 2 zeigt die Ergebnisse in einer polaren Darstellung. Angegeben sind, aufgrund der geringen Differenzen, die prozentualen Unterschiede der an den jeweiligen Meßpunkten (1-72) aus radialer und quasitangentialer, auf den Speisestrom normierter, Amplituden- und Phasenmessung durch Vektoraddition bestimmten Beträge von Pump- zu Vormessung.

Es zeigen sich deutliche Unterschiede im Bereich der Meßpunkte 14-16, 31-34, 56-58 und 66-72. Der Meßwert des Punktes 60 ist ein Schätzwert und unsicher. Der Punkt 70 ist ein Ausreißer und ausge-

lassen worden. Deutlich zeigt sich ein induktiver Einfluß der Zu-
leitung zur Gegenelektrode auf den in ihrer unmittelbaren Nähe ge-
legenen Meßpunkt 55, auch dieser ist unsicher! Betrachtet man die
Darstellung eingehender, so erkennt man Abweichungen in den oben
genannten Bereichen um etwa (+) 5% und mehr. Bemerkenswert ist
auch die sonst gute Übereinstimmung der Meßergebnisse beider Frac-
Zustände, hier sind die Abweichungen $\leq \pm 2,5\%$. Bei diesem Wert
liegt auch der Meßfehler aus Spannungs- und Strommessung der Appa-
ratur. Die "gestörten" Bereiche liegen demnach deutlich oberhalb
dieser Fehlergrenze, dürfen also als wirklich gestört angesehen
werden. Betrachtet man noch einmal die Abb. 2 und lenkt das Augen-
merk auf die Vorzeichen der Änderungen innerhalb der "gestörten"
Zonen, so erkennt man gleiche Tendenz bei gegenüberliegenden Stö-
rungen, entgegengesetzte Tendenz bei orthogonal zueinander gelege-
nen Abweichungen. Die Berechnungen zum Gleichstrom Mise à la Masse-
Verfahren, an geometrischen Anordnungen, ähnlich den hier vorlie-
genden, ergaben eine Abnahme der Potentialunterschiede in Frac-Nor-
malenrichtung, eine Zunahme in Richtung des Risses (vergleiche auch
Protokollband Neustadt, S. 111f). Dieser Sachverhalt, hier auf die
in Falkenberg gewonnenen Meßergebnisse angewendet, bedeutet ein mög-
liches Frac in ONO-WNW-Richtung. Die ausgeprägten Potentialunter-
schiede im Bereich der Meßpunkte 66-72 gegenüber denen von 31-34
scheinen auf eine Neigung des Frac, von Norden nach Süden einfallend,
hinzuweisen. Die nicht in Opposition liegenden Punkte 14-16 bzw.
56-58 machen einen Knick des Risses wahrscheinlich. Leider erlauben
die Datenlücken im Bereich der Punkte 1-13 keine weiteren Aufschlüs-
se.

Die Tendenzanalyse, die gute Übereinstimmung der ungestörten Meß-
daten und alle deutlich über die Genauigkeitsschwelle hervortreten-
den Störergebnisse fügen sich gut zu einer ersten azimuthalen Frac-
Ortung zusammen. Es muß an dieser Stelle noch erwähnt werden, daß
der Untergrund des Meßgeländes eine gewisse natürliche Klüftigkeit
aufweist. So beträgt die Rückflußrate des injizierten Wassers nur
etwa 60%. Die während der mehrstündigen Messungen eingepumpten und
als verloren anzusehenden Wassermengen wachsen zu einigen Kubikme-
tern an und beeinträchtigen natürlich die Ortung. Mikroseismische
Messungen, durchgeführt während der Riß-Erzeugung (BGR - Prakla,
Hannover), ergaben einen Verlauf des Risses unter etwa 110° .

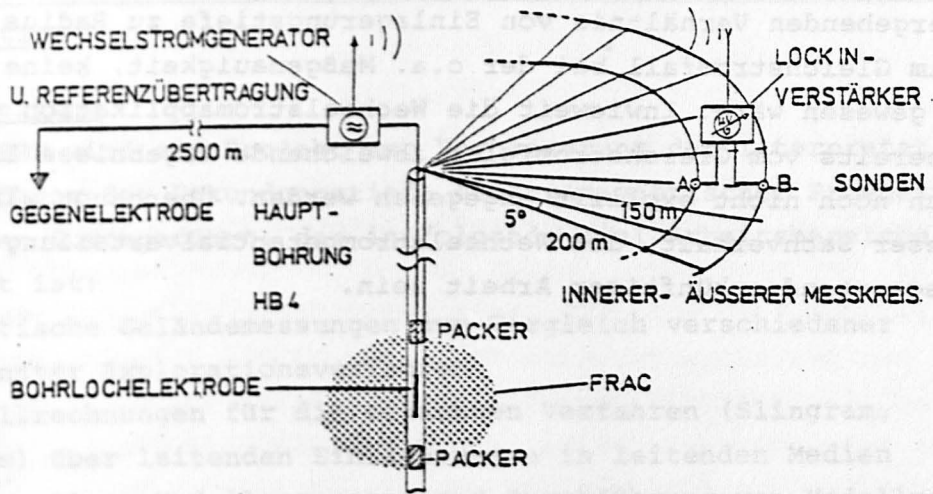


Abb. 1: Meßanordnung, Frac-Ortung Falkenberg

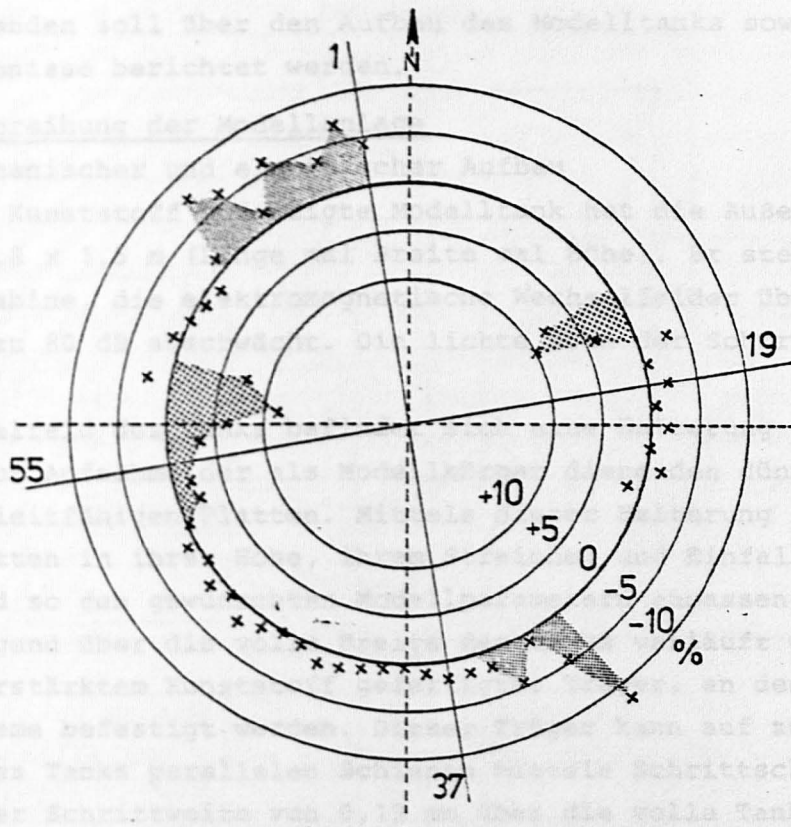


Abb. 2: Meßergebnisse Frac Ortung Falkenberg

Relative Unterschiede der Beträge der Potentialmessungen von Pumpversuch- und Vormessung

Es darf nicht verschwiegen werden, daß mit einem angenommenen Frac Radius von max 30 m (erste seismische Ergebnisse) und einem sich daraus ergebenden Verhältnis von Einlagerungstiefe zu Radius von ca. 8, im Gleichstromfall bei der o.a. Meßgenauigkeit, keine Ortung möglich gewesen wäre. Inwieweit die Wechselstromapplikation von 400 Hz bereits vom Gleichstromfalle abweichende Ergebnisse liefern muß, kann noch nicht explizit angegeben werden. Überhaupt wird aber dieser Sachverhalt, die Wechselstrompotentialverteilung um ein Frac, Gegenstand zukünftiger Arbeit sein.

