

Temperatur- und Wasserspiegelvariationen bei stationären Bohrlochmessungen

*G. Buntebarth, Geophysikalisch-Technisches Büro, Burgstätter Str. 6, 38678 Clausthal-Zellerfeld
G. Melikadze, Georgia Geology State Department, Mosashvili Str. 24, 380062 Tbilisi/Georgia*

1. Temperaturvariationen

Das Temperaturfeld im Untergrund ist aus externen und internen Anteilen zusammengesetzt. Den größten Anteil daran hat der konstante Wärmestrom aus dem tieferen Erdinnern. Er wird jedoch überlagert von der Erdoberfläche her durch tägliche, jährliche und länger andauernde Variationen, aber auch von anthropogenen Einflüssen wie Förderung und Regulierung von Grundwasser, Betrieb von bergbautechnischen Anlagen, Besiedlung und anderen Eingriffen in das vorhandene Temperaturfeld. Bei endogen verursachten Temperaturvariationen ist es hauptsächlich die Veränderung einer hydrothermalen Aktivität, die entweder intensiver oder abgeschwächt wird. Es kann auch der Aufstieg von Thermalwässern durch Änderung in den Wegsamkeiten Variationen verursachen. Tektonische Aktivitäten verursachen Änderungen im lokalen Spannungszustand, verändern damit den Porenraum und führen dazu, dass Wasser im Porenraum in andere Gebiete gepresst wird. Die Migration von Porenwasser kann deshalb mit Temperaturmessungen beobachtet werden, weil der vertikale stationäre Wärmestrom aus dem Erdinnern durch den Wärmetransport bei Massebewegung gestört wird.

Die Auflösung der verwendeten Quarzthermometer beträgt etwa $\Delta T = 0,3$ mK, so dass bei einem vertikalen Temperaturgradienten von $dT/dz = 0,03$ K/m eine vertikale Massebewegung von 1 cm zu erkennen ist. Mit der hohen Stabilität der Thermometer von 0,3 mK/Jahr lassen sich daher vertikale Wasserbewegungen bis zu etwa 1 cm/Jahr aus Temperaturbeobachtungen ableiten.

Bohrlochmessungen erfolgen meist in Tiefen zwischen 100m und 300m und in seismisch aktiven Gebieten Georgiens und Turkmenistans (BUNTEBARTH 1999a). Es zeigt sich, dass in vielen Fällen vor oder bei Erdbeben Temperaturanomalien im Millikelvinbereich als Vorläufer oder als coseismische Signale auftreten (BUNTEBARTH 1999b), deren Erscheinen und Größe von den hydraulischen Eigenschaften zwischen Spannungsherd und Beobachtungsstation abhängen. Diese Eigenschaft kann nun dazu genutzt werden, einen hydraulisch zusammenhängenden Bereich zu kartieren, indem in verschiedenen Bohrungen das simultane Fehlen bzw. Auftreten von induzierten Temperaturanomalien registriert wird. Derartige hydraulische Einheiten werden als Thermalwasserreservoir in einem Projekt im Rahmen des INCO-COPERNICUS-Programms der Europäischen Kommission untersucht. Abb. 1 zeigt ein Beispiel einer registrierten Anomalie während eines lokalen Erdbebens. Es ist jedoch nicht zu erwarten, dass die kleinen Temperatureffekte auch nahe der Erdoberfläche zu erkennen sind. Die Störeinflüsse von der Oberfläche her sind vielseitig und haben häufig eine größere Amplitude.

2. Wasserspiegelmessungen

Ein geringer Zufluss von Wasser ins Bohrloch wird von einer so kleinen Druckänderung erzeugt, dass ein Druckausgleich in den verschiedenen Schichten zwischen der Quelle und der Oberfläche im Bohrloch erfolgen kann. Eine Änderung des Wasserspiegels ist dann kaum zu erwarten. Daher erscheint ein Zusammenhang zwischen einer Temperaturanomalie und einer Wasserspiegelvariation wesentlich von den hydraulischen Eigenschaften im Bohrloch bestimmt. Wenn im anderen Fall der Grundwasserspiegel steigt, z.B. nach Niederschlägen, steigt der hydrostatische Druck, der z.T. durch

oberflächennahe Entwässerung abgebaut wird, aber auch auf tiefere Aquifere durch Verpressen von Wasser einwirken kann.

Zusammenhänge zwischen Wasserspiegel- und Temperaturvariationen wurden verschiedentlich untersucht. SHIMAMURA (1983) konnte keine Korrelation in seinen Beispielen erkennen. BUNTEBARTH et al. (1997) zeigen, dass von drei nahe beieinander gelegenen Bohrungen unterschiedlicher Tiefe nur in der Flachbohrung von 40m bei einem nur 3m unter der Oberfläche liegenden Grundwasserspiegel typisch saisonale Variationen beider Größen feststellbar sind. Mit zunehmender Bohrtiefe sinkt der Wasserspiegel und die Variationen seiner Höhe und der der Temperatur erscheinen weitgehend entkoppelt. Die Beispiele besagen, dass die lokalen und teufenabhängigen hydrologischen Parameter das Ausmaß einer Korrelation zwischen Wasserspiegel und Temperatur bestimmen. Während die Wasserspiegelvariationen wesentlich von den Eigenschaften der obersten Bereiche der Grundwasserführung abhängen, sind die Temperaturmessungen von den tieferen Schichtwässern und damit von den Eigenschaften der tiefer gelegenen Aquifere betroffen, sofern meteorologische Einflüsse die Thermometer nicht direkt erreichen.

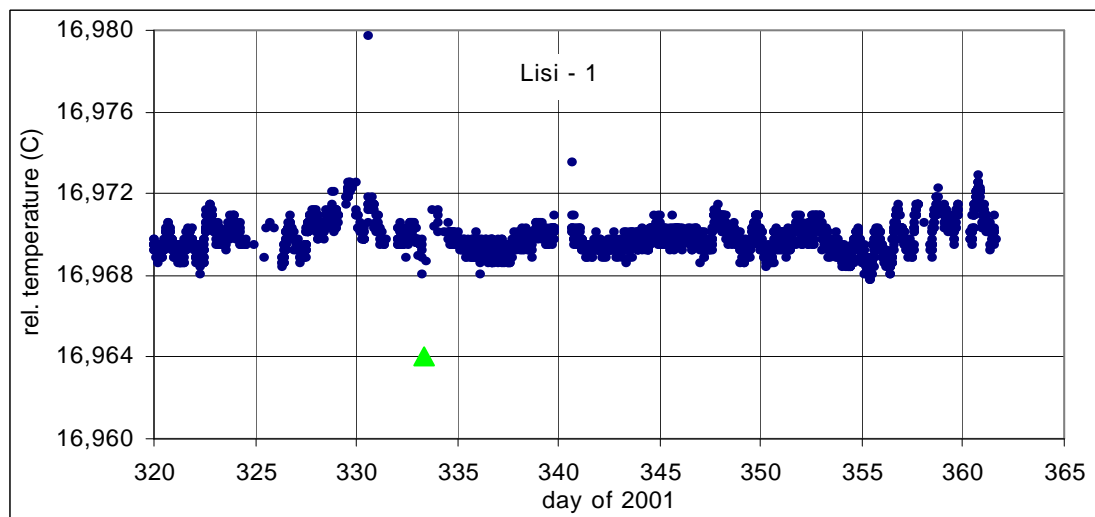


Abb. 1: Temperaturvariation in der Bohrung Lisi-1/Georgien mit einem lokalen Beben am 30. November 2001 (333. Tag) und einem Sprung von 3 mK.

3. Simultane Wasserspiegel- und Temperaturmessungen

In einem von der Europäischen Kommission geförderten Projekt wird die Ausdehnung zweier Thermalwasserreservoirs in seismisch aktiven Gebieten untersucht (www.tu-clausthal.de/~pccb). Die durch die tektonische Aktivität verursachte hydrostatische Druckänderung kann sowohl den Wasserspiegel wie auch die Temperatur in solchen Bohrlöchern verändern, die den selben tektonisch sensitiven Aquifer durchschneiden. Mit einer Basisstation und variablen Messstationen ist eine Kartierung des Reservoirs möglich. Abb. 2 zeigt ein Beispiel, wo eine anomale Wasserspiegelvariation während eines kleineren nahegelegenen Bebens in zwei Stationen aufgezeichnet wird. Eine andere Bohrung bleibt unbeeinflusst. Vor dem Beben steigt der Einfluss der Erdzeiten stark an und nimmt danach gleich wieder auf das frühere Maß ab.

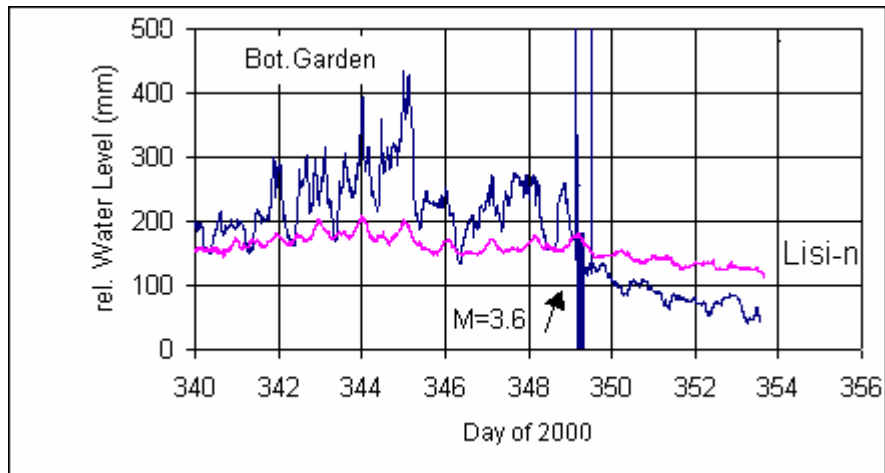


Abb. 2: Wasserspiegelvariationen in 2 Bohrungen mit unterschiedlichem Abstand zu einem Nahbeben.

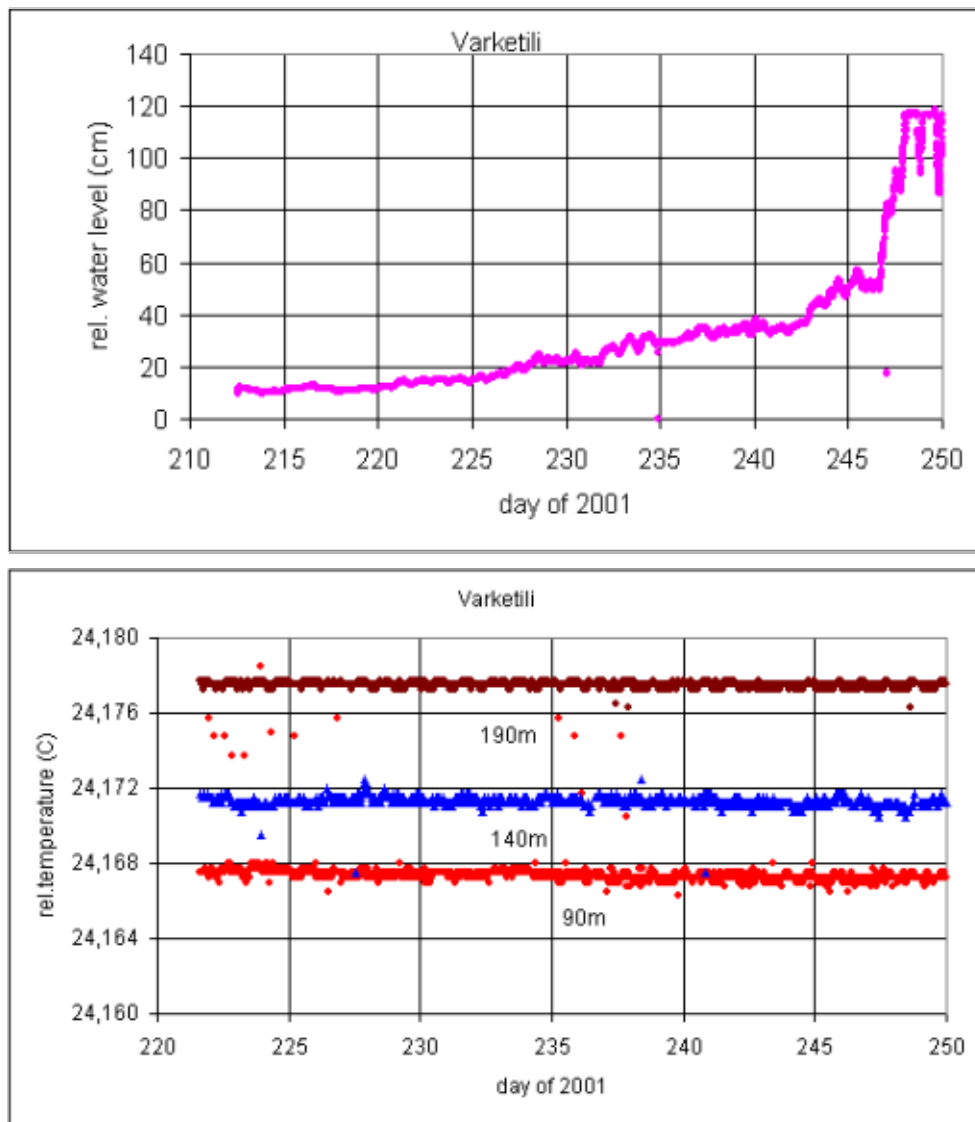


Abb. 3: Oben: Wasserspiegelvariation in der Bohrung Varketili/Georgien
Unten: Temperaturregistrierung in 3 Tiefen derselben Bohrung

Mit Abb. 3 wird ein einfacher Versuch unternommen, die Permeabilität in einer Bohrung abzuschätzen. Die Lösung der Darcy-Gleichung und des Wärmetransports durch Massebewegung ergibt die Verbindung zwischen Temperatur- und Wasserspiegeländerungen:

$$Q_w = \frac{\rho s}{\eta} \xi \frac{\Delta p}{h} \overline{\Delta T} = \rho s v_f \overline{\Delta T}$$

ist die durch das migrierende Wasser hervorgerufene Wärmeflussdichte Q_w mit der Dichte ρ , der spez. Wärmekapazität s , der Viskosität η , der Permeabilität ξ , der Druckdifferenz Δp , der effektiven Teufendifferenz h , der mittleren Temperaturdifferenz ΔT und der Filtergeschwindigkeit v_f . (z.B. BUNTEBARTH 1980).

Nach Abb. 3 betragen die Temperaturänderungen weniger als 1 mK in 90 und 140 m Tiefe, und in 190 m Tiefe ist keine Variation mehr erkennbar. Bei einem Temperaturgradienten von $dT/dz = 0,03$ K/m lässt sich eine Filtergeschwindigkeit von $v_f = 3$ cm für die betrachteten 20 Tage abschätzen. Bei einer Druckänderung von 55 cmWS während dieses Zeitintervalls ergibt sich eine Permeabilität von mindestens 10 Millidarcy in der Tiefe des oberen Temperatursensors. Die höher frequente Variation vom 247.Tag an ist durch nahe Aktivitäten an der Erdoberfläche verursacht. Der Wärmeausgleich wurde nicht berücksichtigt, und die Mächtigkeit h ist auch nicht bekannt, so dass die Abschätzung eine untere Grenze angibt und hier nur zur Erläuterung der Methode dient.

Die Slug-Tests, bei denen eine bestimmte Wassermenge ins Bohrloch gekippt wird, um den zeitlichen Verlauf des Druckausgleichs aufzuzeichnen, ergeben integrale hydraulische Parameter (DOMENICO & SCHWARTZ 1994), die mit der Anwendung einer Sensorkette von hochauflösenden Thermometern teufenbezogene hydraulische Parameter bestimmen lassen.

4.Literatur

BUNTEBARTH, G. (1980), Geothermie – Eine Einführung in die Allgemeine und Angewandte Wärmelehre des Erdkörpers, Heidelberg (Springer), S. 46.

BUNTEBARTH, G., BELIKOV, V.M. ISHANKULIEV, G.A. & KUMSIASHVILI, G. (1997): Jerks and long-term variations in borehole temperatures in the Transcaucasus and near the Kopet Dagh Front Fault in Turkmenistan, Cahiers du Centre European de Geodynamique et de Seismologie 14, 65-79, Luxembourg.

BUNTEBARTH, G. (1999a), Time variations of the temperature in the uppermost crust - case studies, in: G. BUNTEBARTH (Ed.), Microtemperature signals of the Earth's crust, Clausthal-Z. (Papierflieger), 129-137, ISBN 3-89720-287-5.

BUNTEBARTH, G. (Ed.), (1999b), Microtemperature signals of the Earth's crust, Clausthal-Z. (Papierflieger), 182 S., ISBN 3-89720-287-5.

DOMENICO, P. & F.W. SCHWARTZ (1994), Physical and Chemical Hydrogeology, Chichester (Wiley&Sons).

SHIMAMURA, H. (1983), Groundwater microtemperature measurements – coseismic signals and atmospheric pressure effects, Annales Geophysicae 1, 235-238.