

A. Berktold, F. Dorner, K. Kemmerle (München)

Magnetotellurische und erdmagnetische Tiefensondierung im Bereich der Temperaturanomalie von Urach

Auf der Schwäbischen Alb gibt es eine Temperaturanomalie mit einem Durchmesser von grob etwa 50 km und dem Zentrum nahe der Stadt Urach. Im Zentrum der Anomalie beträgt die Temperatur in 1000 m Tiefe ca. 70°C. Diese Temperaturanomalie wird seit ca. einem Jahr mit verschiedenen Methoden der Geophysik intensiv untersucht, u.a. auch mit den Methoden der Magnetotellurik, der erdmagnetischen Tiefensondierung und der Vierpunkt-Geoelektrik. Die Temperaturanomalie kann zum einen durch aufsteigendes erwärmtes Grundwasser verursacht sein. In diesem Fall würde sich die Temperaturanomalie wohl auf die Sedimente der Deckschicht und eventuell auf den obersten Bereich des Grundgebirges beschränken. Zum anderen kann die Temperaturanomalie durch eine Wärmequelle in größerer Tiefe (z.B. einen noch nicht erkalteten Intrusivkörper) verursacht sein. Eine solche Wärmequelle müßte sich mit der Magnetotellurik und der erdmagnetischen Tiefensondierung entdecken lassen, wenn die Temperaturerhöhung - und damit die Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit - im Bereich der Wärmequelle hinreichend groß wäre. Wir wollen mit den oben genannten Methoden untersuchen, ob unter der Temperaturanomalie von Urach eine Anomalie der elektrischen Leitfähigkeit existiert, von der man auf die Tiefenlage der Wärmequelle schließen kann.

Bis Juni 1978 wurde an 20 Orten Magnetotellurik, an 15 Orten erdmagnetische Tiefensondierung und an 10 Orten Vierpunkt-Geoelektrik durchgeführt. Die Lage der Stationen ist in eine Karte der Linien gleicher geothermischer Tiefenstufe nach Carlé (1974) eingetragen. Es ist beabsichtigt, zum einen ein Profil über die Temperaturanomalie zu vermessen, das parallel zum Streichen des Schwäbischen Jura verläuft und zum anderen in 2 Vergleichsgebieten nördlich bzw. südlich der Anomalie zu messen. In dem einen Vergleichsgebiet ca. 50 km nordöstlich des Zentrums der Temperaturanomalie wurde bisher an 5 nahe benachbarten Stationen Magnetotellurik durchgeführt. (Die Messung an mehreren nahe benachbarten Orten soll es ermöglichen, eventuelle Verzerrungen des induzierten elektrischen Feldes durch die inhomogene Verteilung der

Leitfähigkeit nahe der Erdoberfläche zu erkennen und soweit möglich vor der Interpretation zu eliminieren.) Die Vergleichsmessungen südlich der Temperaturanomalie werden erst im Sommer 1978 durchgeführt.

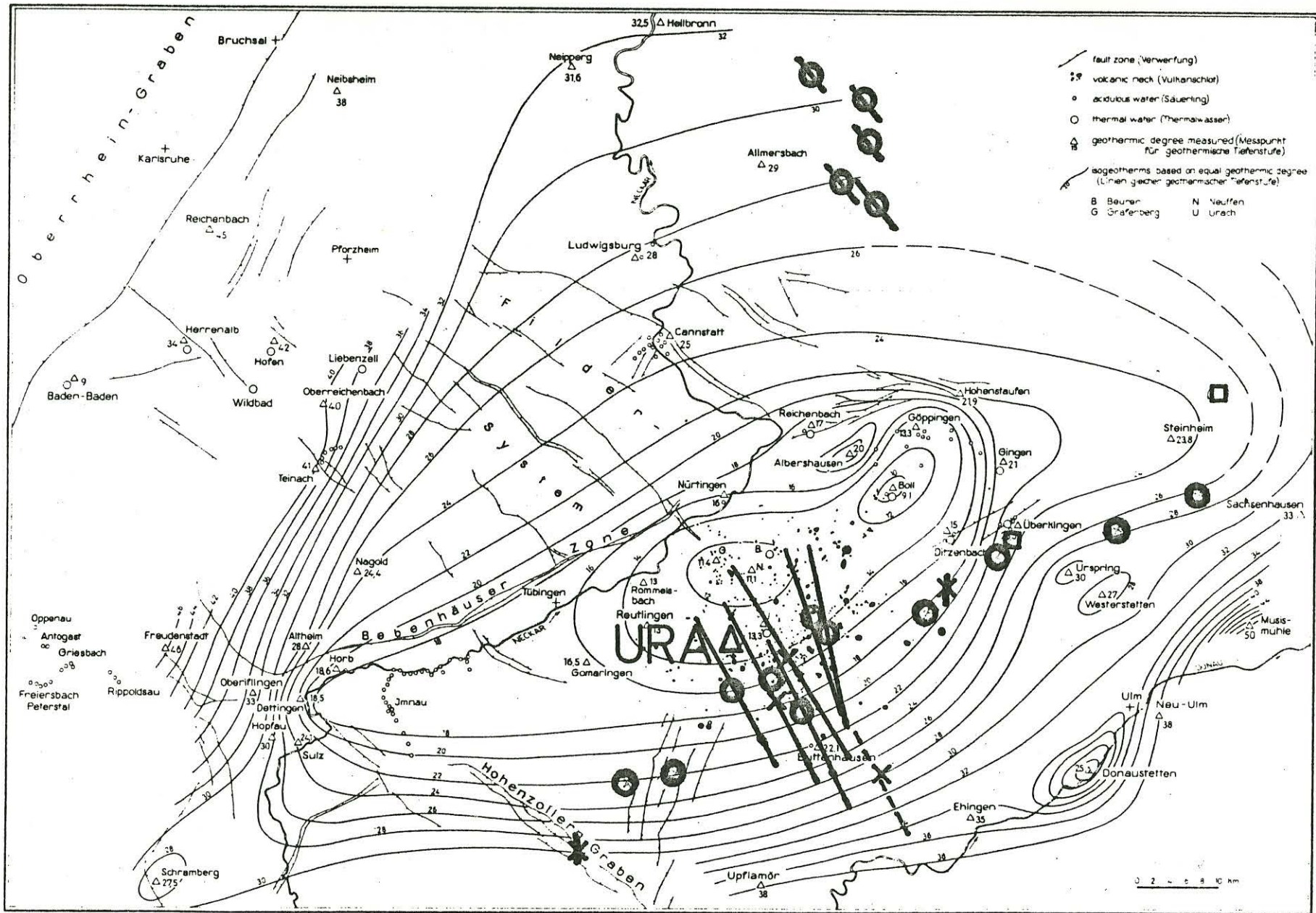
In Fig. 1 ist außer der Lage der Stationen auch die Vorzugsrichtung des induzierten elektrischen Feldes an den einzelnen Stationen eingetragen. Die Vorzugsrichtung ist an den meisten Stationen - vor allem für Perioden > 100 sec - nur wenig von der Periode der Variationen abhängig. Die Länge des einzelnen Striches, der die Vorzugsrichtung angibt, ist ein Maß für die Stärke der Polarisation des elektrischen Feldes. Die Länge L des Striches ist gegeben durch: $L = \sqrt{g_{s,\parallel} / g_{s,\perp}} - 1$ (L in cm; $g_{s,\parallel} = g_s$ berechnet aus der E-Feld Komponente parallel zur Vorzugsrichtung; $g_{s,\perp}$ berechnet aus der dazu senkrechten E-Feld Komponente). Die Vorzugsrichtung ist an allen Stationen etwa gleich; sie steht großräumig etwa senkrecht zum mittleren Streichen des Schwäbischen Jura. Dagegen ist der Polarisationsgrad des elektrischen Feldes innerhalb und außerhalb der Temperaturanomalie unterschiedlich. An den Stationen innerhalb der Temperaturanomalie ist das induzierte elektrische Feld deutlich stärker polarisiert als an den Stationen außerhalb der Anomalie. Die Zunahme des Polarisationsgrades zur Temperaturanomalie hin wird dabei durch eine Abnahme der Amplitude der zur Vorzugsrichtung senkrechten E-Feld Komponente zur Anomalie hin verursacht. Die zur Vorzugsrichtung parallele E-Feld Komponente ist außerhalb und innerhalb der Temperaturanomalie etwa gleich groß. Die Verkleinerung der zur Vorzugsrichtung senkrechten Komponente zur Anomalie hin ist nahezu unabhängig von der Periode der Variationen. Dies spricht dafür, daß der Effekt durch ein Deformieren des Stromsystems nahe der Erdoberfläche (oberste 2-3 km) durch Strukturen in diesem Tiefenbereich verursacht wird. Dabei ist noch ungeklärt, warum durch diese Strukturen nur die zur Vorzugsrichtung senkrechte E-Feld Komponente verändert wird.

In Fig. 2 sind die g_s - und die Phasenkurven für die Station BOE (Böhringen) etwa im Zentrum der Temperaturanomalie dargestellt. Die Kurven wurden im Koordinatensystem der Vorzugsrichtung des elektrischen Feldes berechnet. Die mit Fehlerbalken versehenen Symbole wurden aus den Registrierungen von Induktionsspulen-Magnetometern berechnet. Die als Punkte dargestellten Werte

wurden aus den Registrierungen von Filmelektrographen und Förstersonden berechnet. Die Werte von den unterschiedlichen Geräten fügen sich gut zusammen. (Bei der oberen Kurve ist die Abnahme der mit den Induktionsspulen-Magnetometern gewonnenen Q_S -Werte von ca. 200 sec Periode zu längeren Perioden hin wahrscheinlich nicht reell; sie ist wohl durch eine zu geringe Aktivität des induzierenden Magnetfeldes bei längeren Perioden verursacht.) Bei der $Q_{S,\parallel}$ -Kurve (obere Kurve, berechnet aus dem elektrischen Feld in Vorzugsrichtung und der Magnetfeld-Komponente senkrecht dazu) nimmt der scheinbare spezifische Widerstand von Perioden um 100 sec zu kürzeren Perioden deutlich ab. Bei der $Q_{S,\perp}$ -Kurve nimmt Q_S zu kürzeren Perioden eher zu. Wäre der Untergrund unter der Station Böhringen etwa eben geschichtet, dann müßte die Periodenabhängigkeit von $Q_{S,\parallel}$ und $Q_{S,\perp}$ und damit die Morphologie der beiden Kurven etwa gleich sein. (Die unterschiedliche Lage der beiden Kurven im Koordinatensystem wird mit großer Wahrscheinlichkeit durch die Polarisierung des induzierten elektrischen Feldes durch Inhomogenitäten der Leitfähigkeit nahe der Erdoberfläche erzeugt.) Da die Morphologie der beiden Kurven unterschiedlich ist - wobei die $Q_{S,\perp}$ -Kurve kaum von der Periode der Variationen abhängt -, muß die deutliche Periodenabhängigkeit der $Q_{S,\parallel}$ -Kurve eher von einem lateralen Gradienten der Leitfähigkeit (z.B. einer etwa vertikalen Grenzfläche) als von einem vertikalen Gradienten der Leitfähigkeit (z.B. einer Schichtgrenze) verursacht sein. Der Meßort Böhringen müßte dabei nahe dem lateralen Leitfähigkeitsgradienten auf der Seite des besser leitfähigen Untergrundes liegen. Nun ist aus der erdmagnetischen Tiefenson-dierung (BerktoId, 1974) bekannt, daß entlang des Schwäbisch-Fränkischen Jura ein lateraler Gradient der elektrischen Leitfähigkeit von einem besser leitfähigen Untergrund nördlich des Jura zu einem geringer leitfähigen Untergrund südlich des Jura existieren muß. Der laterale Übergangsbereich von der besseren zur geringeren Leitfähigkeit liegt im Jura und hat dieselbe Streichrichtung wie der Jura. Die Station Böhringen könnte sehr wohl nahe diesem Übergangsbereich liegen. (Es fällt auf, daß die Vorzugsrichtungen des induzierten elektrischen Feldes an allen Stationen im Jura und auch nördlich davon etwa senkrecht zur Streichrichtung des eben genannten lateralen Leitfähigkeitsgradienten (und damit auch senkrecht zur Streichrichtung des Jura) stehen. Eine Korrela-

tion zwischen beiden Phänomenen ist allerdings wenig wahrscheinlich.) Im unteren Teil der Abb. 2 sind die Phasenkurven φ_{\parallel} und φ_{\perp} dargestellt. (Von den auf der Ordinate angegebenen Phasendifferenzen müssen 90° abgezogen werden.) Die Phasenkurven werden hier noch nicht diskutiert, da von den anderen Stationen noch keine befriedigenden Vergleichskurven vorliegen.

Von den anderen Meßorten auf dem Schwäbischen Jura gibt es z.Z. noch keine so sicheren Ergebnisse wie von der Station Böhringen. An diesen Meßorten sind die technischen Störströme oft deutlich größer als an der Station Böhringen, wodurch stärkere Streuungen der $\varrho_{S,\perp}$ -Kurven und der Phasenkurven bewirkt werden. Dagegen sind die $\varrho_{S,\parallel}$ -Kurven für die meisten Meßorte hinreichend sicher bestimmt. Sie sehen ähnlich aus wie die $\varrho_{S,\parallel}$ -Kurven der Station Böhringen: $\varrho_{S,\parallel}$ nimmt im Periodenbereich von etwa 10 sec bis 100 sec mehr oder weniger stark zu und bleibt für Perioden > 100 sec etwa konstant. Wir haben für einige dieser $\varrho_{S,\parallel}$ -Kurven eben geschichtete Modelle nach einem Inversionsverfahren von Schmucker (1974) berechnet. Dabei erhält man für die obersten 10 km der Kruste einen spezifischen Widerstand von 50-100 Ωm ; darunter folgt eine Schicht mit einem spezifischen Widerstand von $> 1000 \Omega\text{m}$. Ab 80 km Tiefe nimmt der spezifische Widerstand wahrscheinlich wieder ab. Falls die Periodenabhängigkeit der $\varrho_{S,\parallel}$ -Werte - wie weiter oben diskutiert - von einem lateralen Gradienten der Leitfähigkeit erzeugt wird, sind diese Modelle allerdings nicht realistisch: Die oberste gutleitfähige Schicht kann auch mächtiger sein. Diese gutleitfähige Schicht in der Oberkruste existiert nach den bisherigen Ergebnissen unter allen Meßorten auf dem Jura. Sie scheint also nicht auf den Untergrund unter der Temperaturanomalie beschränkt zu sein. Diese These wird weiter unterstützt durch Ergebnisse einer erdmagnetischen Tiefensondierung an 4 Stationen auf einem Jura-parallelen Profil über die Temperaturanomalie (Beblo, 1977). Danach ändert sich für Perioden > 20 sec entlang dieses Profils weder die Amplitude der Horizontalkomponenten \tilde{H} und \tilde{D} noch die Amplitude der Vertikalkomponente \tilde{Z} . Nach dem gegenwärtigen Stand der Auswertung scheint unter der Temperaturanomalie von Urach also keine eindeutige, mit der Temperaturanomalie korrelierbare Leitfähigkeitsanomalie zu existieren. Der in der Oberkruste unter der Temperaturanomalie gemessene geringe spezifische Widerstand scheint in einem größeren Bereich entlang des Jura vorzukommen.



Die Wärme-Anomalie der mittleren Schwäbischen Alb, dargestellt durch Linien gleicher geothermischer Tiefenstufe ($m/1^{\circ}C$).

Abb. 1

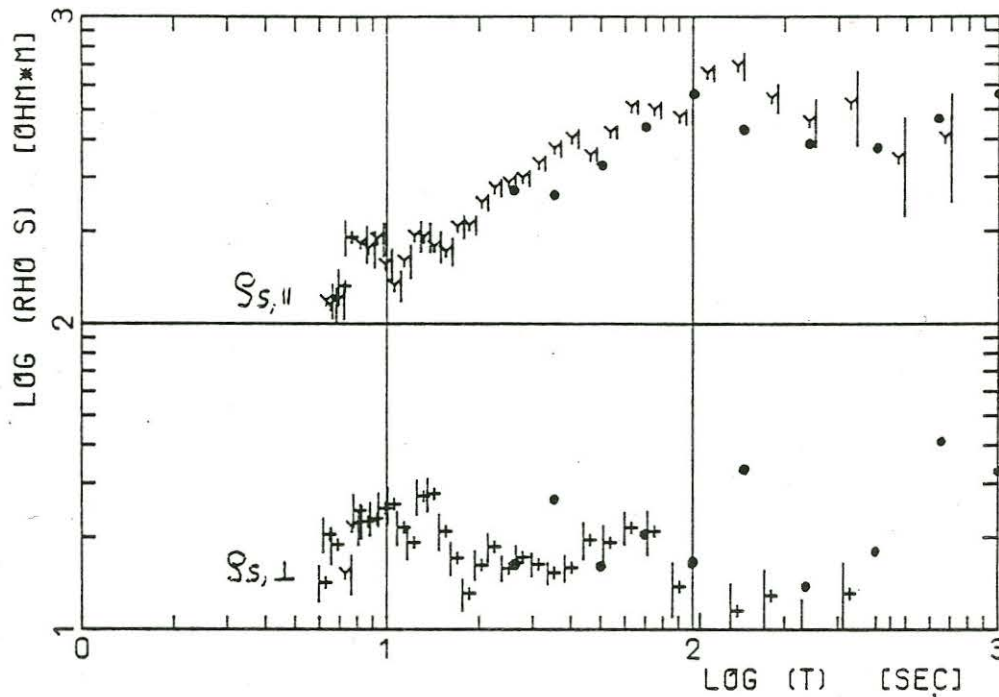
Literatur:

Carlé, W.: Die Wärmeanomalie der mittleren Schwäbischen Alb. Approaches to Taphrogenesis, Proc. of an Intern. Rift Symp. (1972), S. 207 - 212, Stuttgart, 1974.

Berkthold, A.: Erdmagnetische Tiefensondierung in Süddeutschland und in den Alpen. Prot. Erdmagnetische Tiefensondierung, Grafrath, 58 - 70, 1974.

Schmucker, U.: Tiefensondierung mit langperiodischen Variationen, Prot. Erdmagnetische Tiefensondierung, Grafrath, 313 - 342, 1974.

Beblo, M.: Electrical conductivity in the Geothermal Anomaly of the Urach Volcanic Area, SW Germany - First Results, Acta Geodeat. et Montanist. Acad. Sci. Hung. Tomus 12 (1 - 3), pp. 87 - 91, 1977.



BÖEH3, 4 YY MAX.

Y KOMP. PARALLEL VZR
+ KOMP. SENKRECHT VZR

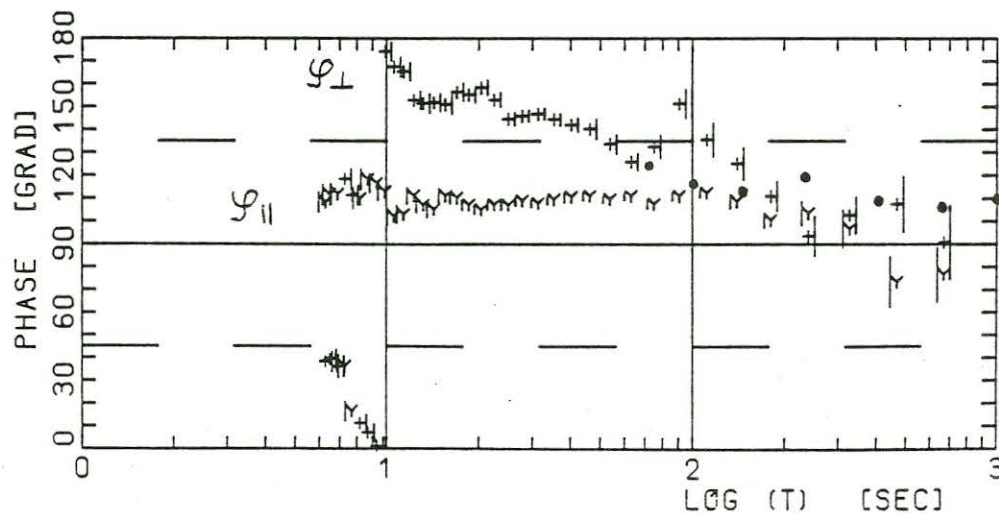


Abb. 2