

M.L.Richards, U.Schmucker, E.Steveling

"Erdmagnetische Tiefensondierung und Magnetotellurik mit Pulsationen im Bereich der Uracher Wärmeanomalie"

Seit 1977 wurden in Südwestdeutschland vom Institut für Geophysik der Univ. Göttingen 3 Feldkampagnen zur Untersuchung der elektrischen Leitfähigkeit von Erdkruste und Oberem Mantel durchgeführt. Die Messungen sind Teile mehrerer Projekte, in denen verschiedene geophysikalische Methoden zur Erkundung von Temperaturanomalien im Untergrund untersucht werden sollen.

Unter anderem wurden auf einem etwa 170 km langen Profil von IMD bis MOE längs der Schwäbischen Alb erdmagnetische Pulsationen mit 6 Induktionsmagnetometern und 3 Tellurikapparaturen digital auf Magnetbandkassetten registriert (s. Lageplan Abb.2 und 3). Die Profilmitte bei BOE fällt etwa mit dem Zentrum der geothermischen Anomalie Urach zusammen.

Die beiden Abb. 1a,b sind analoge Wiedergaben eines mit 2s Abtastrate digital an 6 Stationen im mittleren Profilbereich aufgezeichneten Effekts von 16 min Länge. Für Abb.1a wurde von der Zeitreihe ein kubischer Trend abgezogen. Anschließend wurden Anfang und Ende der Zeitreihe durch Multiplikation mit einem Cosinusfenster gegen Null geglättet. Die linke Abbildung gibt also eine fast unbehandelte Aufzeichnung wieder.

Für die rechte Abb.1b wurde die linke mit einer Fast Fourier Transformation in den Frequenzbereich transformiert. Dann wurden die Spektren mit den Übertragungsfunktionen der jeweiligen Aufnahmesensoren (z.B. Induktionsmagnetometer) multipliziert und in den Zeitbereich zurücktransformiert. Abb.1b gibt also den wahren Verlauf der Pulsationen, allerdings unter Abzug eines Trends, wieder.

Die Registrierungen deuten an, daß im Bereich dieser Stationen keine starke Leitfähigkeitsanomalie zu erwarten ist. Die 3 Komponenten des Magnetfeldes sind an den 6 Registrierstationen einander ebenso ähnlich wie die 2 Komponenten des elektr. Feldes an den 3 Registrierstationen. Selbst die Vertikalkomponente des Magnetfeldes (Z) ist an fast allen Stationen gleich. Die Nordkomponente des elektr. Feldes (EN) verläuft fast in Phase zur Ostkomponente des Magnetfeldes (D). Die Ostkomponente des elektr. Feldes (EO) ist der Nordkomponente des Magnetfeldes (H) nahezu

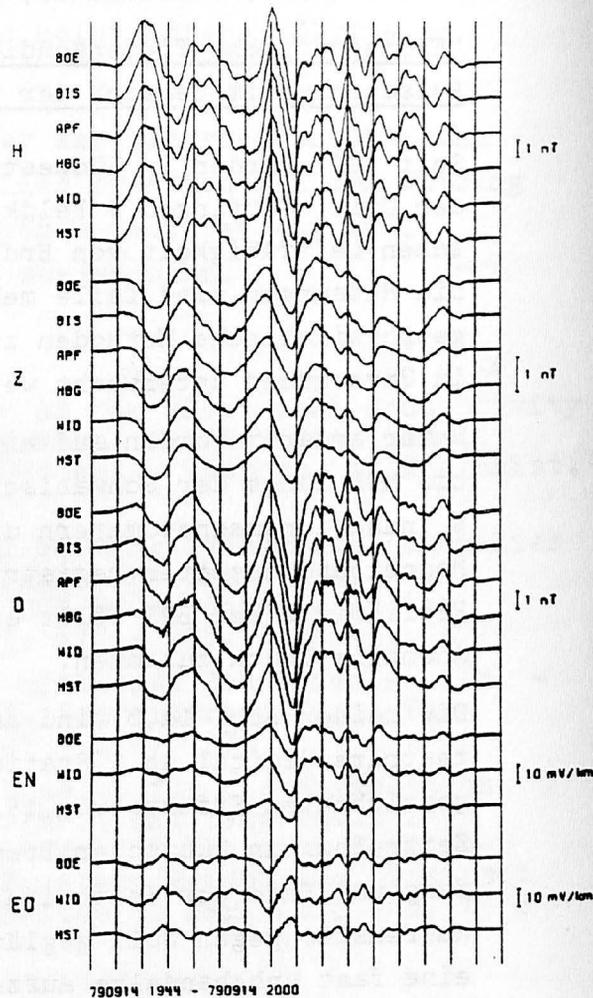
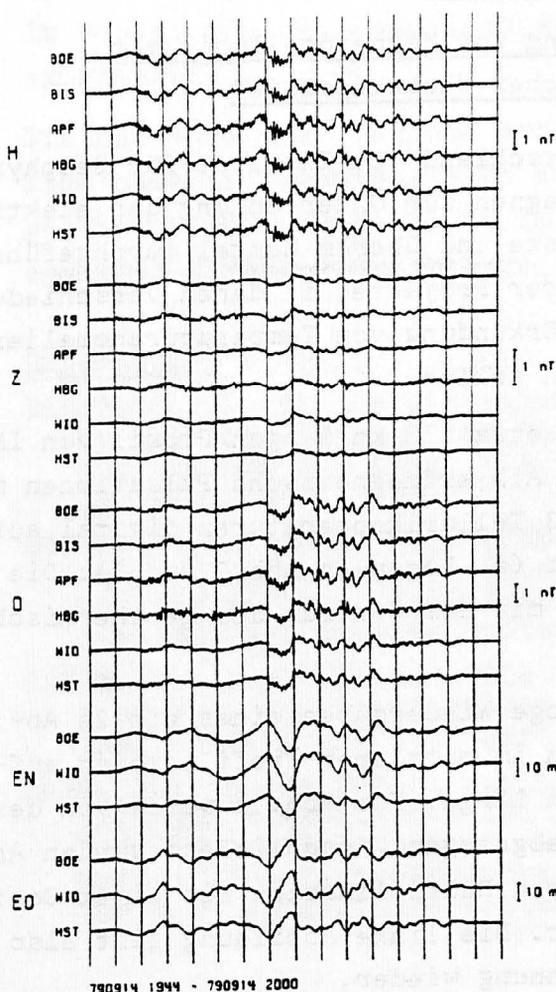


Abb.1a

Abb.1b

Pulsationen vom 14.9.1979, 19.44-20.00 h UT. Links nach der Originalaufzeichnung, rechts nach Berücksichtigung der Sensor-Übertragungsfunktionen.

entgegengerichtet. Der bemerkenswerteste Unterschied wird in der D-Komponente beobachtet. Auf dem kurzen Nordsüdprofil BIS-BOE-APF ist die Amplitude von D ungefähr gleich groß. Dann nimmt sie aber bis HST, also in nordöstlicher Richtung von der Anomalie Urach weg, ab. Andere Registrierbeispiele ergänzen diese Aussage dadurch, daß sie auch eine Abnahme der D-Amplitude in südwestlicher Richtung zeigen. Über der geothermischen Anomalie Urach gibt es also eine erhöhte Ostkomponente erdmagnetischer Pulsationen.

Etwa 250 Registrierintervalle von 4 bis 32 Minuten Länge der in Abb.1a,b gezeigten Art wurden in den Frequenzbereich transformiert. Zusätzlich wurden (bisher nur für den nordöstlichen Profil-

bereich) Intervalle mit 60 bis 240 Minuten Länge ausgewertet, die auch langperiodische Störungen enthielten. Diese Intervalle wurden mit einem 80s-Trapeztiefpaß gefiltert und auf die Abtast-rate 30s dezimiert.

Die weitere Auswertung erfolgte nach dem von SCHMUCKER (1978) vorgeschlagenen Verfahren. Es erfolgte eine Glättung der Spektren für 9 Parzenfenster mit Fensterbreiten von 0.01 bis 1.6 cpm. Das Ergebnis waren 25 geglättete Spektralwerte für den Periodenbereich 7.5-2000 s. Es scheint sicher zu sein, daß die Induktionsmagnetometerdaten bis zu Perioden von 1000s gute Ergebnisse liefern. Unter sehr günstigen Voraussetzungen (große Amplituden, sehr geringe Temperaturvariation) ist auch eine Auswertung bis zu Perioden von 1 Stunde denkbar.

Aus den geglätteten Spektren wurden die komplexen Übertragungsfunktionen Z zwischen dem elektrischen Feld E und dem normalen horizontalen Magnetfeld (H_n, D_n) sowie die komplexen Übertragungsfunktionen h zwischen dem anomalen (H_a, D_a, Z_a) Magnetfeld und (H_n, D_n) bestimmt.

$$\begin{vmatrix} E_{NS} \\ E_{EW} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} Z_{NN} & Z_{NE} \\ Z_{EN} & Z_{EE} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} H_n \\ D_n \end{vmatrix} \quad \begin{vmatrix} H_a \\ D_a \\ Z_a \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} h_H & h_D \\ d_H & d_D \\ z_H & z_D \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} H_n \\ D_n \end{vmatrix}$$

In den folgenden Abbildungen werden diese Übertragungsfunktionen in zum Teil modifizierter Form dargestellt.

Da gleichzeitig an mehreren Stationen registriert wurde, ergibt sich die Möglichkeit, das anomal induzierte horizontale Magnetfeld darzustellen, z.B. durch Perturbationspfeile. In Abb.2 sind die Realteile der mit D_n korrelierten Horizontalkomponenten für die Periode $T=25s$ als derartige Pfeile dargestellt. Hier sind die Perturbationspfeile so normiert, daß die Mittelwerte von h_D und d_D an den 4 unterstrichenen Randstationen IMD, NUS, RUD und OHR gleich Null sind. Die etwa nach Osten gerichteten Pfeile in der mittleren Schwäbischen Alb um BOE bedeuten, daß dort die D-Komponente für $T=25s$ gegenüber den Randstationen um 20-30% verstärkt ist. Durch die Ostkomponente des Magnetfeldes werden also in diesem Bereich zusätzliche NS-Ströme induziert, d.h. es gibt hier NS-streichende Strukturen erhöhter elektrischer Leitfähigkeit. Die gleiche Vorzugsrichtung haben BERKTOLD et al. (1978) mit magnetotellurischen Messungen im Uracher Gebiet gefunden. Es ist anzunehmen, daß die Strukturen relativ oberflächennah liegen, da

die Perturbationspfeile mit wachsender Periode kürzer werden. Die Stationen STH und MOE liegen in den Zentren des Steinheimer Beckens bzw. des Nördlinger Ries. Die vergleichsweise langen Pfeile an diesen Orten dürften auf die gutleitenden Sedimentfüllungen der beiden Becken zurückzuführen sein.

In Abb.3 ist der Realteil der komplexen Übertragungsfunktion zwischen dem vertikalen und dem horizontalen Magnetfeld für $T=25s$ als Induktionspfeil dargestellt. Hier wurde angenommen, daß in 1. Näherung die Vertikalkomponente nur den anomal induzierten Anteil enthält, und daß das horizontale Magnetfeld jeder Station normal ist. In der südwestlichen Schwäbischen Alb haben die Induktionspfeile eine vorwiegende Westkomponente, in der nordöstlichen nur eine Ostkomponente. Dazwischen erfolgt eine Drehung von der einen in die andere Richtung. Insgesamt deuten also die Induktionspfeile - wenn auch nicht so klar wie die Perturbationspfeile - auf einen guten Leiter in der mittleren Schwäbischen Alb hin. Daß die Induktionspfeile im allgemeinen vom guten Leiter weg zeigen, ist gut an den Rheingrabenrandstationen BAD und STA zu erkennen. Für lange Perioden zeigen alle Induktionspfeile der Schwäbischen Alb ziemlich einheitlich nach Südosten.

Aus den von den magnetotellurischen Messungen abgeleiteten Impedanzen Z wurden nach dem Verfahren von SCHMUCKER die scheinbaren Widerstände ϱ^* und die Eindringtiefen z^* als Funktion der Periode berechnet. In Abb.4 ist der Verlauf der aus Z_{NE} bestimmten Eindringtiefen für den Periodenbereich 12.5 bis 1000s längs des Profils angegeben. Die längs der Kurven als Parameter angegebenen Zahlen sind die scheinbaren Widerstände für die jeweilige Tiefe.

Im Periodenbereich 12.5 - 100s nimmt die Eindringtiefe von IMD bis BOE schwach ab. Dann erfolgt eine starke Zunahme der Eindringtiefe für alle Perioden bis TUE und anschließend wieder eine stetige Abnahme bis MOE. Unter jeder Station nimmt der scheinbare Widerstand mit der Tiefe ab, und zwar um etwa den Faktor 2 im Periodenbereich 12.5 bis 200s. Bisher gibt es aus der Magnetotellurik noch keinen deutlichen Hinweis dafür, daß es unter der mittleren Schwäbischen Alb in größerer Tiefe ein Gebiet erhöhter elektrischer Leitfähigkeit gibt. Es ist aber zu vermuten, daß 25-30km nordöstlich von Urach ein Gebiet verminderter elektrischer Leitfähigkeit in größerer Tiefe existiert.

Der augenblickliche Stand der Auswertung wird in Abb.5 zusammenge-

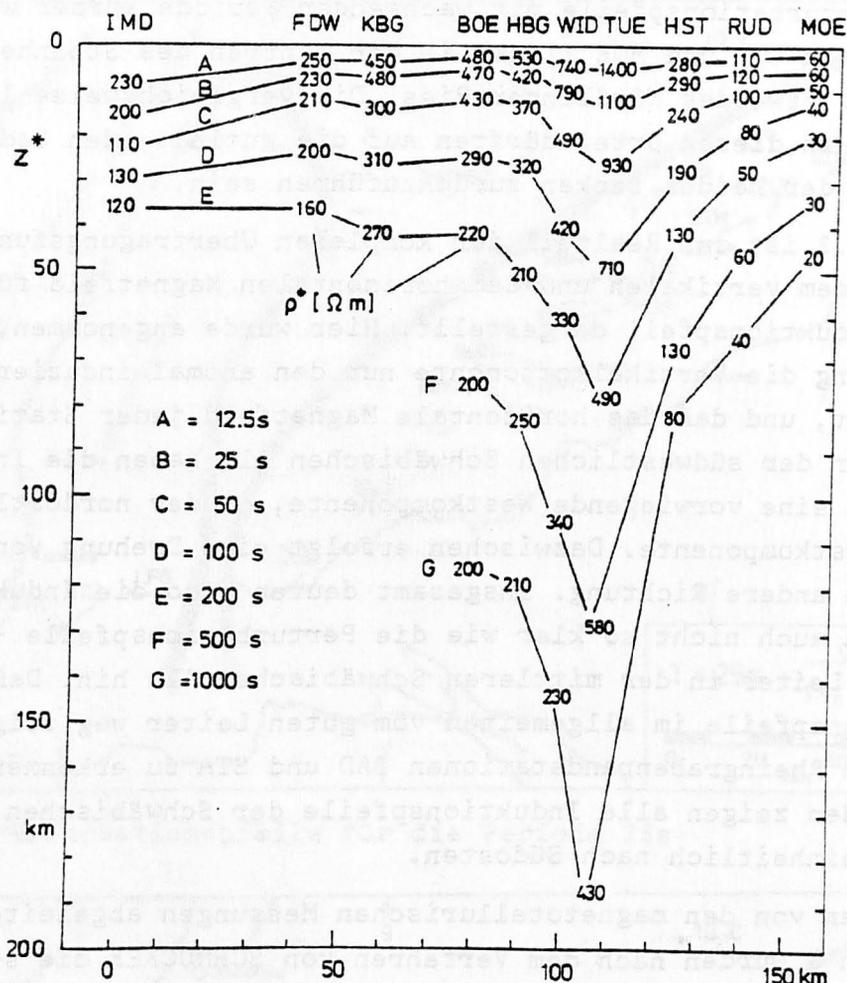


Abb.4: Eindringtiefen z^* und scheinbare Widerstände ρ^* für 7 verschiedene Perioden längs der Schwäbischen Alb

faßt und mit den Aussagen anderer geophysikalischer Untersuchungen verglichen. Das Profil überquert das Gebiet der von MÄUSSNEST (1978) kartierten Vulkanschlote. Mit dem Zentrum des Schwäbischen Vulkans fällt auf dem Profil das Maximum der Temperaturanomalie in 1km Tiefe zusammen (HÄNEL, 1980). Die Tiefenlage des Basements wurde von PRODEHL (1980) aus refraktionsseismischen Messungen abgeleitet.

Mit der Tiefe des Basements ist die Ostkomponente d_D der Perturbationspfeile aus Abb. 2, also die anomale Ostkomponente des Magnetfeldes, gut korreliert. Das Maximum fällt mit dem tiefsten Punkt des Basements zusammen. Zwischen Profilkilometer 75 und 100 steigt das Basement am stärksten an, und d_D nimmt am stärksten ab. Auch die Basementhochlage bei km 65 macht sich in d_D bemerkbar. Die beobachtete D-Anomalie unter Urach wird also voraussichtlich durch

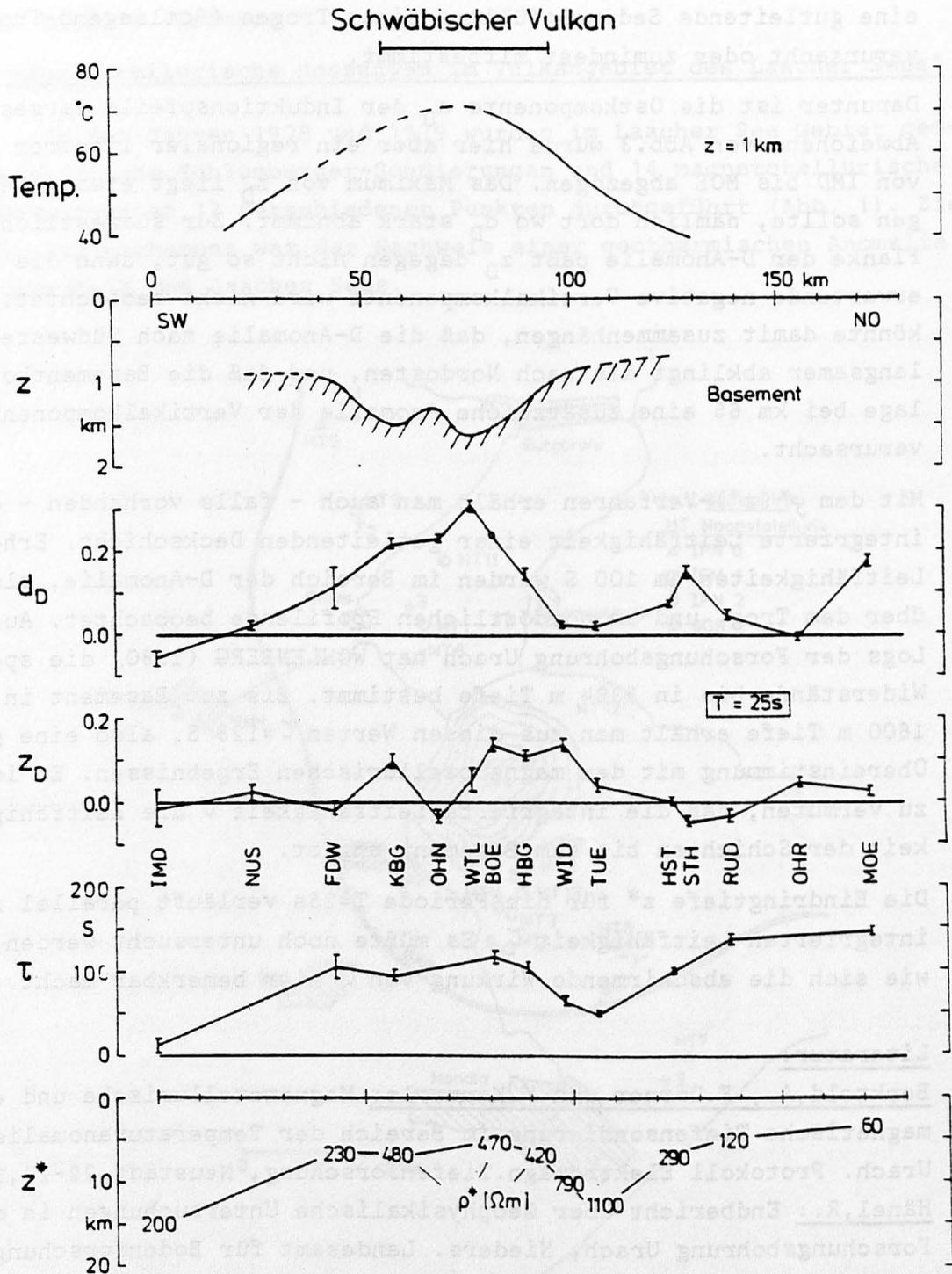


Abb.5: Vergleiche längs der Schwäbischen Alb:

Schwäbischer Vulkan
 Temperatur in 1km Tiefe
 Tiefenlage des Basements aus der Refraktionsseismik
 anomale Ostkomponente des Magnetfeldes d_D
 Vertikalkomponente des Magnetfeldes z_D
 integrierte Leitfähigkeit (Deckschicht) τ
 Eindringtiefe z^* und scheinb. Widerstand ρ^*

$T=25s$

eine gutleitende Sedimentfüllung eines Troges (Rotliegend-Trog) verursacht oder zumindest mitbestimmt.

Darunter ist die Ostkomponente z_D der Induktionspfeile dargestellt. Abweichend von Abb.3 wurde hier aber ein regionaler linearer Trend von IMD bis MOE abgezogen. Das Maximum von z_D liegt etwa wo es liegen sollte, nämlich dort wo d_D stark abnimmt. Zur südwestlichen Flanke der D-Anomalie paßt z_D dagegen nicht so gut, denn die zu erwartende negative Vertikalkomponente wird nicht beobachtet. Das könnte damit zusammenhängen, daß die D-Anomalie nach Südwesten langsamer abklingt als nach Nordosten, und daß die Basementhochlage bei km 65 eine zusätzliche Anomalie der Vertikalkomponente verursacht.

Mit dem $\rho^*(z^*)$ -Verfahren erhält man auch - falls vorhanden - die integrierte Leitfähigkeit einer gutleitenden Deckschicht. Erhöhte Leitfähigkeiten um 100 S werden im Bereich der D-Anomalie, also über dem Trog, und am nordöstlichen Profilende beobachtet. Aus Logs der Forschungsbohrung Urach hat WOHLBERG (1980) die spez. Widerstände bis in 3334 m Tiefe bestimmt. Bis zum Basement in 1600 m Tiefe erhält man aus diesen Werten $\tau=125$ S, also eine gute Übereinstimmung mit den magnetotellurischen Ergebnissen. Es ist zu vermuten, daß die integrierte Leitfähigkeit τ die Leitfähigkeit der Schichten bis zum Basement angibt.

Die Eindringtiefe z^* für die Periode $T=25$ s verläuft parallel zur integrierten Leitfähigkeit τ . Es müßte noch untersucht werden, wie sich die abschirmende Wirkung von τ hier bemerkbar macht.

Literatur:

Berkold, A., F. Dorner und K. Kemmerle: Magnetotellurische und erdmagnetische Tiefensondierung im Bereich der Temperaturanomalie von Urach. Protokoll Elektromagn. Tiefenforschung, Neustadt, 22-27, 1978

Hänel, R.: Endbericht über Geophysikalische Untersuchungen in der Forschungsbohrung Urach, Nieders. Landesamt für Bodenforschung, Hannover, S.4 Anl.1, 1980

Mäussnest, O.: Karte der vulkanischen Vorkommen der Mittleren Schwäbischen Alb und ihres Vorlandes (Schwäbischer Vulkan) 1:100000, Landesvermessungsamt Baden-Württemberg, 1978

Prodehl, C.: Veröffentlichung im Urach-Sammelband geplant, 1980

Wohlenberg, J.: Elektrische Untersuchungen. In Hänel (1980), s.o.

Schmucker, U.: Auswertungsverfahren Göttingen, Protokoll Elektromagnetische Tiefenforschung, 163-188, Neustadt, 1978