

Überprüfung der Krustenmodelle im Bereich
der Bohrlokation KTB-Oberpfalz VB mit
Hilfe von Bohrlochmessungen

**ÜBERPRÜFUNG DER KRUSTENMODELLE IM BEREICH DER
BOHRLOKATION KTB-OBERPFALZ VB
MIT HILFE VON BOHRLOCHMESSUNGEN**

R. Hänel

ZUSAMMENFASSUNG

Die bisher erarbeiteten Krustenmodelle der Seismik, Gravimetrie, Elektrik, Geothermik und Magnetik werden zusammengestellt und die Grenzflächen/Übergangszonen für den Bereich der Bohrlokation Windischeschenbach ermittelt. Zum Vergleich dient ein Composite Log in Anlehnung an die erbohrte Lithologie. Das Composite Log besteht aus den Standardbohrlochmessungen, der seismischen Geschwindigkeit, der Gesteinsdichte, des elektrischen spezifischen Widerstandes, der Wärmeproduktionsrate, der Temperatur und der vertikalen magnetischen Intensität. Die daraus für jeweils eine lithologische Einheit berechneten Mittelwerte werden als Log und auch als Tabelle dargestellt. Der Vergleich der Bohrlochmessungen mit den Krustenmodellen zeigt im Rahmen der Genauigkeit gute korrelierbare Ergebnisse. Der Vergleich zeigt weiter, daß in etwa 3,8 - 4 km Tiefe der "zweite" Amphibolitkörper durchteuft sein müßte.

SUMMARY

The existing crust models built from seismic, gravimeter, geoelectric, geothermic and magnetic data are compiled. For the location of the pilot borehole KTB-Oberpfalz VB the main boundaries and transition zones within the crust are derived.

For comparison a composite log has been established with regard to the lithology encountered in the borehole. The composite log consists of standard borehole measurements: seismic velocity, rock density, electrical specific resistivity, heat production rate, temperature and vertical magnetic intensity. Mean values have been calculated for each lithological unit and displayed as a composite log as well as a table. The comparison of the 'mean value' composite log with the crust models shows a good correlation within the expected error range. Furthermore, at 3.8 - 4 km depth the "second" amphibolite body will be drilled through.

1 EINLEITUNG

Im folgenden soll der Versuch unternommen werden, die seismische Geschwindigkeit, die Gesteinsdichte, den elektrischen spezifischen Widerstand, die Wärmeproduktionsrate (bestehend aus Dichte, Uranium-, Thorium- und Kaliumgehaltsmessungen), die Temperatur sowie die vertikale magnetische Intensität zusammenfassend aus Bohrlochmessungen darzustellen, genannt Composite Log. Hierbei soll die durchteufte Lithologie bzw. der Lithologiewechsel als bekannt vorausgesetzt werden.

Eine andere Möglichkeit wäre, die Lithologie bzw. den lithologischen Wechsel als unbekannt voranzusetzen und das geologische Profil mit Hilfe des o.g. Composite Logs zu bestimmen. Das ist jedoch Gegenstand der Untersuchungen der Arbeitsgruppe Haverkamp, Wohlenberg und Walter (RWTH Aachen), die dieses Problem unter Einbeziehung weiterer Logs und dem FACIO-Log Rechenprogramm zu lösen versucht.

Ziel der vorliegenden Untersuchungen ist es zu überprüfen, inwieweit die nunmehr vorliegenden Bohrlochmessungen mit den gegenwärtig diskutierten Krustenmodellen übereinstimmen.

2 KRUSTENMODELL

In Abb. 1 ist ein vereinfachtes, NW-SE verlaufendes geologisches Profil dargestellt, wie es aus den reflexionsseismischen Messungen und Weitwinkelmessungen der Arbeitsgruppe DEKORP (DEKORP Research Group 1988) hergeleitet wurde; vergl. hierzu auch GRAUP et al. (1988). Abb. 2 zeigt eine überarbeitete Version (SCHMOLL et al. 1988), aus der hervorgeht, daß der Erbdorf Körper "ausgedünnt" wurde.

In Abb. 3 ist eine Wiederholung der Abb. 2 wiedergegeben. Es wurde außerdem die Tiefe der Mohorovičić-Diskontinuität eingetragen sowie der magnetische Störkörper. Der magnetische

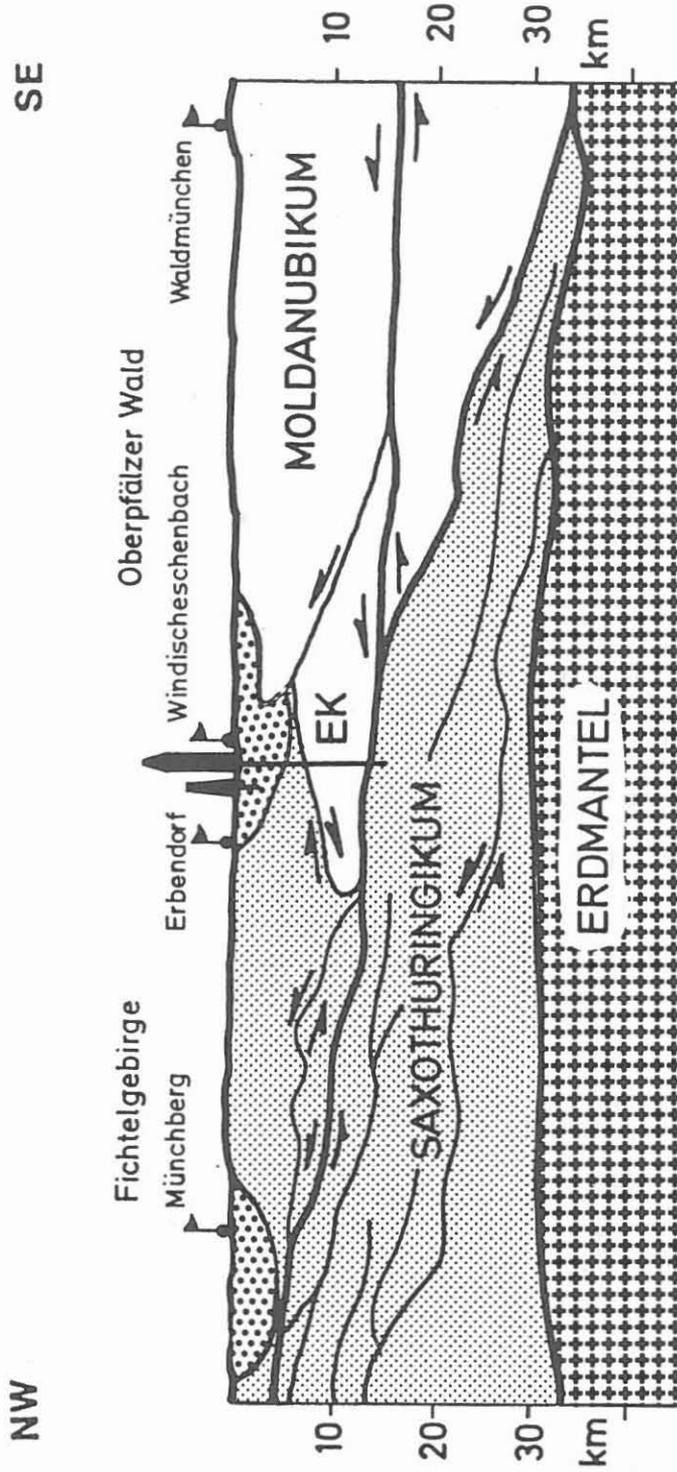


Abbildung 1: Vereinfachtes schematisches Profil durch die KTB - Lokation; EK = Erbdorfkörper.

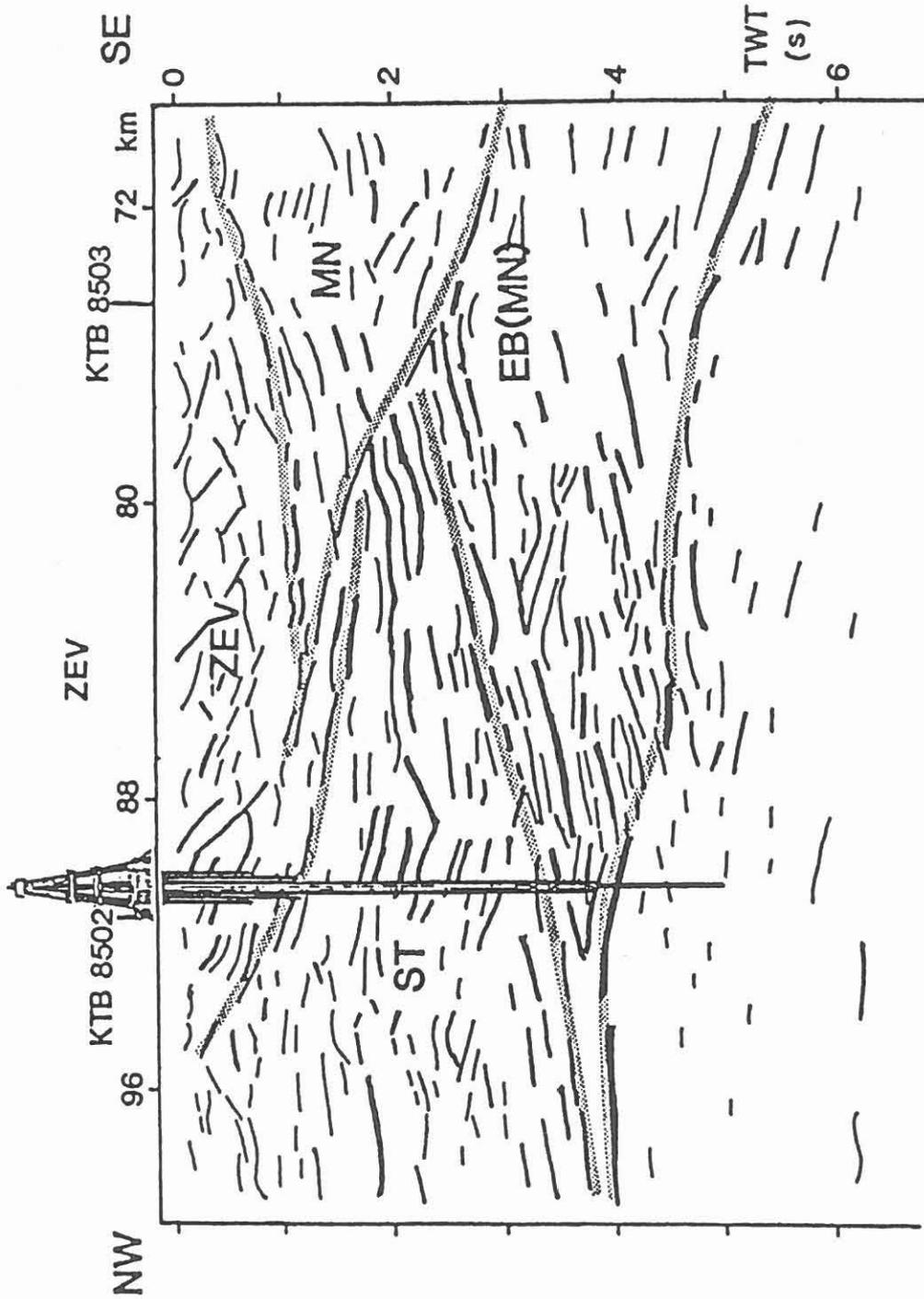


Abbildung 2: Mittlere Sektion des DEKORP 4 Profils incl. strukturgeologischen Interpretationen;
ST = Saxothuringikum, MN = Moldanubikum, ZEV = Zone von Erbendorf-Vohenstrauß,
EB = Erbendorfkörper.

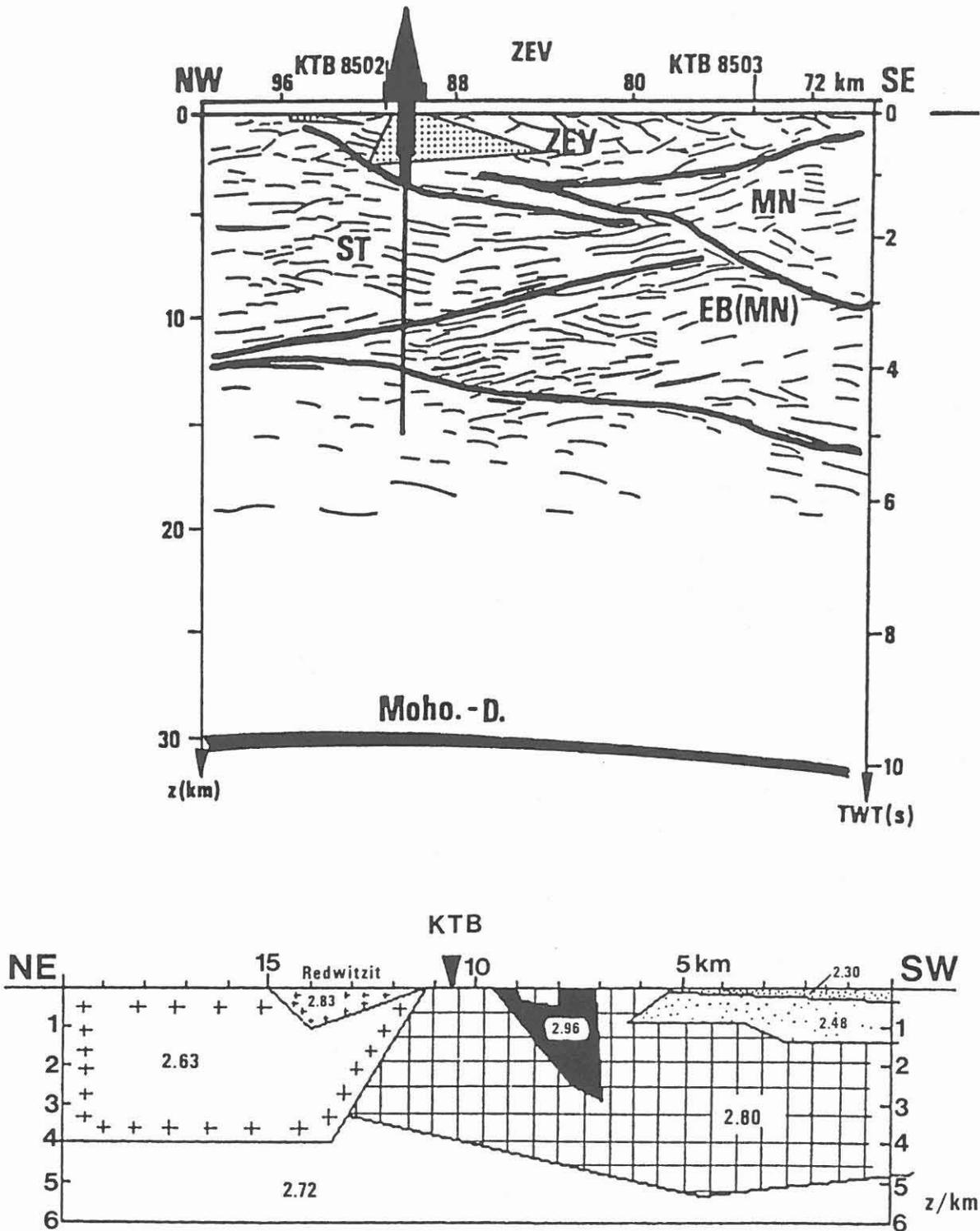


Abbildung 3: Darstellung der Abb. 2 bis zur Mohorovičić - Diskontinuität, des magnetischen Störkörper - Modells (oberes Bild) sowie der Dichteverteilung im Bereich der Bohrlokation (unteres Bild).

Störkörper in einem SW-NE verlaufenden Profil dargestellt (PUCHER 1986), wurde von Herrn BOSUM freundlicherweise in das NW-SE verlaufende Profil lagegerecht eingearbeitet. Die Abbildung enthält des weiteren das gravimetrische Profil (BÜCKER & SOFFEL 1986), jedoch nur in einem NW-SW Profilschnitt.

Die Abb. 4 zeigt das Geschwindigkeits-Tiefenprofil der Abb. 1 (stark ausgezogene Linie) sowie das der Abb. 2 (unterbrochene Linie) aus den Weitwinkelmessungen im Bereich der Bohrlokation Windischeschenbach. Die unterbrochenen Linien sind nur dann sichtbar, wenn diese von der durchgehenden Linie abweichen. Das sich anschließende Geschwindigkeitsmodell gibt die Geschwindigkeiten des Geschwindigkeits-Tiefenprofils der Abb. 1 wieder. Es folgt die Verteilung der elektrischen spezifischen Widerstände, ebenfalls nur für den Bereich der Bohrlokation dargestellt, gemäß den Arbeiten der Firma GEOMETRA (1988). Eine direkte Korrelation von Seismik und Geoelektrik ist erwartungsgemäß wegen der unterschiedlichen Gesteins-Signalantwort nur bedingt möglich. Schließlich sind die bis in 14 km Tiefe zu erwartenden Temperaturen dargestellt (BURKHARDT et al. 1986). Der schraffierte Bereich gibt die mittleren Erwartungstemperaturen wieder und die äußeren Geraden die minimalen und maximalen Erwartungstemperaturen. Die als Balken eingetragenen Temperaturen wurden den Arbeiten von GRUBBE et al. (1983) und HÄNEL (1983) entnommen. Die Breite der Balken spiegelt ebenfalls den Erwartungsbereich wieder.

3 BOHRLOCHMESSUNGEN

Für den Vergleich der Bohrlochmessungen mit den Krustenmodellen ist zu berücksichtigen, wie und wo die Messungen für die Krustenmodelle erfolgten. Die Temperaturmessungen z.B. wurden in acht ca. 300 m tiefen Bohrungen ausgeführt, wobei die nächstgelegene Bohrung in einer Entfernung von ca. 3 km und

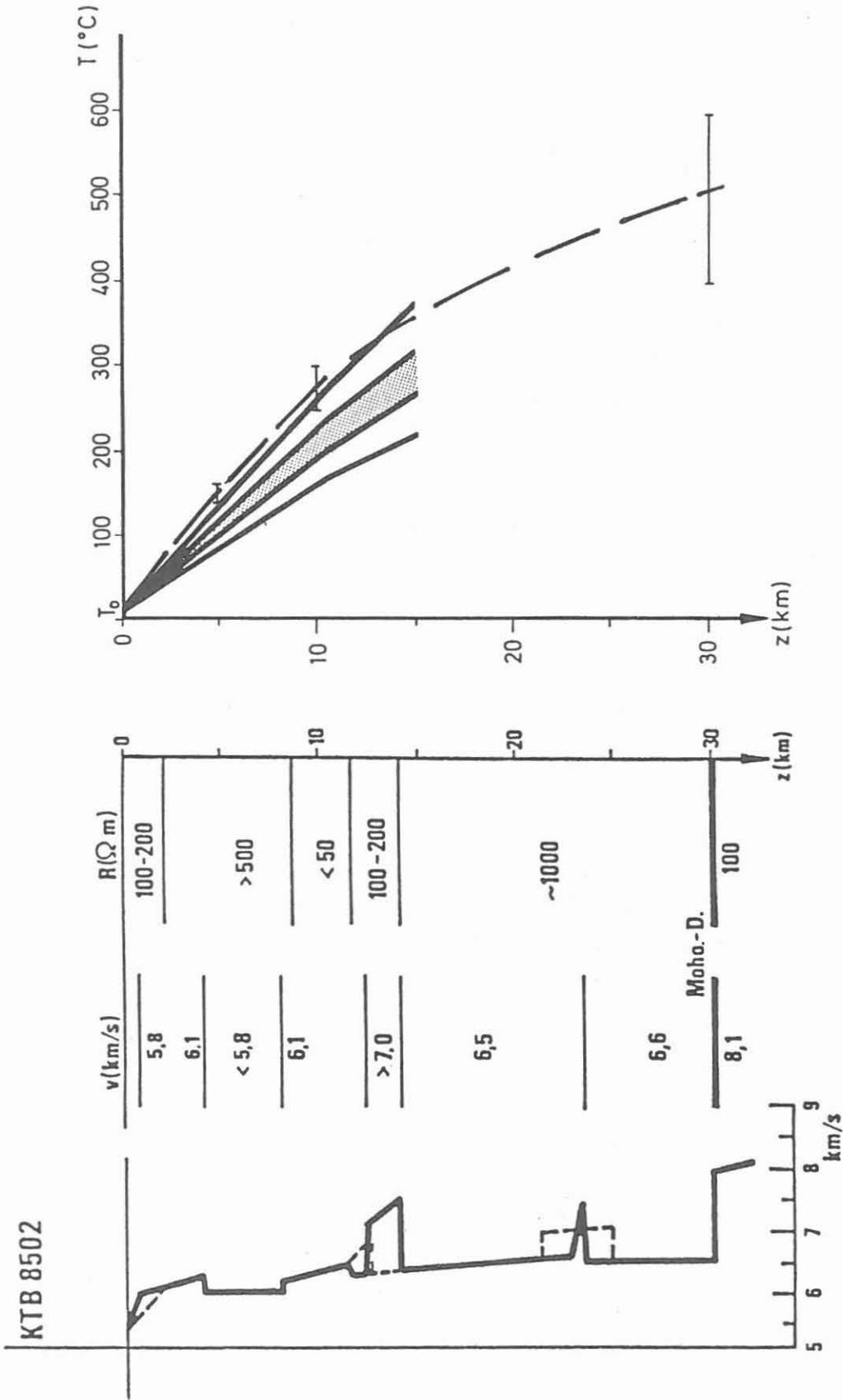


Abbildung 4: Geschwindigkeits-Tiefenverteilung (Abb. 3), elektrische Widerstände (GEOMETRA 1988) und Erwartungstemperaturen gemäß BURKHARDT et al. (1986) (—) und GRUBBE et al. (1983) (---) im Bereich der Bohrlokation.

die am weitesten entfernte Bohrung in ca. 36 km abgeteuft wurde. Die reflexionsseismischen Profile hingegen verlaufen nicht exakt durch den Bohrpunkt KTB-Vorbohrung VB, sondern in einer Entfernung von ca. 400 m. Dabei ist außerdem die steilstehende Schichtung und Foliation des nunmehr erbohrten Gesteins zu berücksichtigen. Entsprechende Betrachtungen wären für die Gravimetrie, Magnetik und Geoelektrik erforderlich.

Außerdem ist zu beachten, daß die geophysikalischen "Über-tagemessungen" im Gegensatz zu den geophysikalischen "Unter-tagemessungen (Bohrlochmessungen)" unterschiedliche Volumina erfassen; z.B. Reflexionsseismik : Akustiklog. Mithin werden die Meßwerte der Über- und Untertagemessungen nicht in jedem Fall in ihren Absolutwerten übereinstimmen, doch sollten relative Änderungen in beiden Verfahren deutlich sichtbar sein.

Die für das Composite Log ausgewählten Messungen beinhalten die seismische Geschwindigkeit der Kompressionswelle V_p (aufgenommen mit dem Digital Sonic Tool), den scheinbaren elektrischen Widerstand R (Duallaterolog), die Wärmeproduktionsrate H , die aus der Dichte ρ , dem Uran-, Thorium- und Kaliumgehalt berechnet wird (Geochemical Logging Tool), die Temperatur T (Temperatursonde vom KTB) sowie der vertikalen magnetischen Intensität (aufgenommen mit dem Bohrlochmagnetometer der BGR). Das Meßprinzip der Bohrlochsonden wurde bereits im KTB-Report 87-4 erläutert.

Die Meßergebnisse von V_p , ρ , R und H sind in Anl. 1 für den Teufenbereich von 0 - 3622 m teufenkorreliert dargestellt. Während die Meßwerte für V_p und R in bezug auf das Bohrlochkaliber unkorrigiert wiedergegeben werden, ist die Dichte immer dann, wenn $\rho < 2,69 \text{ g/cm}^3$ lieferte, auf $\rho = 2,68 \text{ g/cm}^3$ gesetzt worden. Die ursprünglichen Werte mit $\rho < 2,68 \text{ g/cm}^3$ wurden jedoch im Dichtelog für Kontrollzwecke gestrichelt dargestellt. Diese Korrektur wurde vorgenommen, weil ρ für die Berechnung von H benötigt wird. Weitere Details zur

Wärmeproduktion H können dem Beitrag von ZOTH (in diesem Report) entnommen werden.

Zur besseren Übersicht wurden die Meßwerte gemittelt, und zwar in Anlehnung des vorläufigen Lithologie-Profiles nach HIRSCHMANN (mündliche Mitteilung). Die Mittelwerte sind als stark ausgezogene Linien den tatsächlichen Meßwerten in Anl. 1 überlagert. Der Tab. 1 können die Mittelwerte direkt entnommen werden.

In Abb. 5 sind diese Mittelwerte noch einmal dargestellt, zusammen mit der Lithologie, der vertikalen magnetischen Intensität ΔZ und der Temperatur T. Weitere Details zu ΔZ können der Arbeit von BOSUM et al. (1988) und zu T der Arbeit von ZOTH (in diesem Report) entnommen werden.

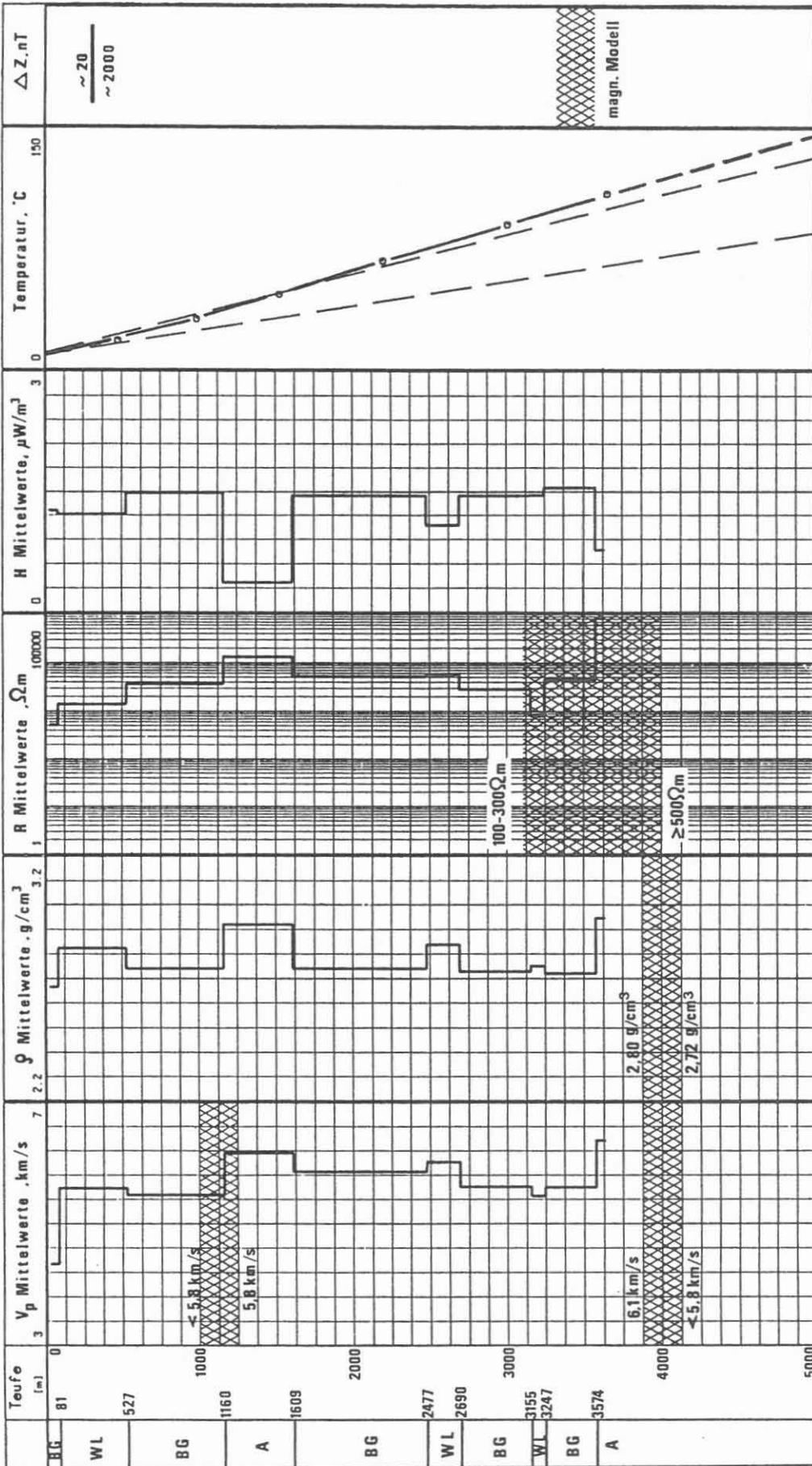
Man erkennt, daß sich die Lithologie in den Bohrloch-Meßergebnissen recht gut widerspiegelt. Die Wechsellagerung in 2477 - 2690 m ist im elektrischen Widerstand (DLL-Mittelwerte) und die Wechsellagerung in 3155 - 3247 m in der Wärmeproduktion H nur bedingt bzw. gar nicht zu erkennen.

In die Abb. 5 wurden außerdem die Grenzflächen bzw. Übergangszonen der Krustenmodelle übernommen und als gestrichelter Bereich eingetragen; als Bereich deshalb, weil sich die Tiefe aus den Publikationen nicht exakt entnehmen läßt.

Die beiden Reflexionshorizonte sind offenbar identisch mit den Oberkanten der beiden Amphibolitkörper, während die Unterkante der erhöhten Dichte im Modell mit der Oberkante des tiefer liegenden Amphibolitkörpers übereinstimmt. Der Übergangsbereich der Übertageelektrik läßt sich wegen der starken Anisotropie im Bereich der Bohrlokation nur über einen größeren Tiefenbereich angeben; etwa 4 - 5 km. Für weitere Details wird auf GEOMETRA (1988) und KÜCK (in diesem Report) verwiesen. Möglicherweise ist diese Übergangszone ebenfalls identisch mit der Oberkante des tieferliegenden

Tabelle 1: Mittelwerte zu den Meßkurven der Anlage 1.

Tiefe (m)	V_p (km/s)	ρ (g/cm ³)	LLD (Ω m)	H (μ W/m ³)
81	4,34	2,66	512	1,26
527	5,59	2,82	1391	1,21
1160	5,47	2,74	3668	1,48
1609	6,16	2,92	13154	0,37
2477	5,85	2,74	5159	1,45
2690	6,02	2,84	5697	1,08
3155	5,61	2,73	2826	1,45
3247	5,46	2,75	804	1,45
3574	5,60	2,72	4491	1,55
	6,37	2,95	81069	0,77



Hänel, KTB

Abbildung 5: Mittelwert - Darstellung der Geschwindigkeit V_p , der Dichte ρ , des spezifischen elektrischen Widerstandes R sowie der Wärmeleitung H . Zusätzlich ist eingetragen die untere und obere Erwartungsgrenze der Temperatur (---), die gemessene Temperatur (—) sowie die vertikale magnetische Intensität ΔZ . Außerdem wurden die Modellgrenzen gemäß Abb. 3 und 4 übernommen. Es bedeuten (HIRSCHMANN, mündl. Mitteilung): BG = Biotitgneis, WL = Wechsellagerung von Amphiboliten/Metabasiten und Gneisen, A = Amphibolit.

Amphibolits in 3575 m. Die Unterkante des magnetischen Körpers ist etwa bei 3,5 km anzusetzen. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß der Körper mit einer höheren Magnetisierung allmählich in eine normale Magnetisierung übergeht (BOSUM, mündliche Mitteilung). Das heißt, der Übergang dieses Modellkörpers kann nicht scharf definiert werden und ist vielleicht ebenfalls in ca. 4 km Tiefe anzusetzen. Ein Bezug zur vertikalen magnetischen Intensität ΔZ läßt sich wegen der fehlenden Messungen ab ca. 1 200 m nicht herstellen.

Der Vergleich der vorausberechneten Temperaturen in Abb. 4 zeigt, daß die gemessenen Temperaturen oberhalb der oberen Erwartungsgrenze nach BURKHARDT et al. (1983), jedoch im Rahmen der Erwartung nach GRUBBE et al. (1983) und HÄNEL (1983) liegen.

Aus dem lithologischen Profil, den Modellkörper-Übergangszonen und den Bohrlochmessungen wird deutlich, daß die Ergebnisse der Vorerkundung mit den Bohrlochmessungen nicht im Widerspruch stehen und recht gut korrelieren.

Im Bereich von ca. 3 600 m Tiefe deuten sich zwei Möglichkeiten der Interpretation an:

- Das Composite Log läßt den bereits soeben erbohrten Amphibolit erkennen. Demzufolge sind hohe Geschwindigkeiten, hohe Dichten, hohe Widerstände und geringe Wärmeproduktionsraten zu erwarten.
- Die in Abb. 5 übertragenen Ergebnisse der Krustenmodelle lassen dagegen für die Geschwindigkeit und für die Dichte genau entgegengesetzte Werte erwarten: geringere Geschwindigkeiten und geringere Dichten. Dies weist darauf hin, daß der zweite Amphibolitkörper dann durchteuft sein sollte und wiederum Biotitgneis und/oder eine Wechsellagerung zu erwarten ist.

Eine eindeutige Lösung kann jedoch nur die Vertiefung der Bohrung erbringen.

LITERATUR

- BOSUM, W., HAHN, A., GEIPEL, H. & ROLF, C., 1988: Die Erforschung magnetischer Diskontinuitäten mit Hilfe bohrlochmagnetischer und gesteinsmagnetischer Untersuchungen in der Bohrung KTB Oberpfalz VB. - BGR/NLfb, Hannover, Archiv-Nr. 104 402, 53 S.
- BÜCKER, C. & SOFFEL, H., 1986: Gravimetrie. - 2. KTB-Kolloquium, Seeheim (Odenwald), 19.09. - 21.09.1986, S. 65-70.
- BURKHARDT, H., HONARMAND, H. & WÄGERLE, P., 1986: Geothermie. - 2. KTB-Kolloquium, Seeheim (Odenwald) 19.9. - 21.09.1986, 150 - 160.
- DEKORP Research Group, 1988: Contributors: BORTFELD, R.K., KELLER, F., SIERON, B., SÖLLNER, W., STILLER, M., THOMAS, R., FRANKE, W., WEBER, K., VOLLBRECHT, A., HEINRICHS, T., DÜRBAUM, H.-J., REICHERT, C., SCHMOLL, J., DOHR, G., GEBRANDE, H., BOPP, M., NEURIDER, P. & SCHMIDT, T.: Results of the DEKORP 4/KTB Oberpfalz deep seismic reflection investigations. - J. Geophys., 62, 69 - 101.
- GEOMETRA, 1988: Ergebnisse geowissenschaftlicher Umfelduntersuchungen. Elektromagnetische Tiefensondierungen 1987. - NLfb, Hannover, KTB-Report 88-3, 195 S.
- GRAUP, G., HACKER, W., KEYSSNER, S., MASSALSKY, T., MÜLLER, H., RÖHR, C. & UHLIG, S., 1988: KTB Oberpfalz VB-erste Ergebnisse der geologischen Aufnahme bis 480 m. - NLfb, Hannover, KTB-Report 88-1, B1-B104.
- GRUBBE, K., HÄNEL, R., JOBST, St., REICHERT, Ch. & ZOTH, G., 1983: Forschungsvorhaben: Vertikalbewegungen und ihre Ursachen am Beispiel des Rheinischen Schildes, Teilprojekt Geothermik. Schlußbericht. - BGR/NLfb, Hannover, Archiv-Nr. 93 273, 50 S.
- HÄNEL, R., 1983: Geothermal Investigations in the Rhenish Massiv. - In: Plateau Uplift, The Rhenish Shield - A Case History. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo S. 228-246.
- PUCHER, R., 1986: Interpretation der magnetischen Anomalie von Erbdorf (Oberpfalz) und dazugehörige gesteinsmagnetische Untersuchungen. - Geol. Jb. E 33, Hannover, 31-52.

RYBACH, L., 1988: Determination of heat production rate. -
In: Handbook of Terrestrial Heat-Flow Density Determination (Eds. R. HÄNEL, L. RYBACH and L. STEGENA), D. Reidel Publ. Comp., Dordrecht, p. 125 - 142.

SCHMOLL, J., BITTNER, R., DÜRBAUM, H.-J., HEINRICHS, T.,
MEISSNER, R., REICHERT, C., RÜHL, Th. & WIEDERHOLD, H.,
1988: Oberpfalz Deep Seismic Reflection Survey and Velocity Studies. - Submitted for publication.