

# Über die TEM-, Geoelektrik- und Eigenpotentialmessungen am Baikalsee

*N. Koshevnikov (Irkutsk State Technical University), B. Tezkan (Universität zu Köln)*

## 1 Einleitung

Das geophysikalische Institut der Technischen Universität in Irkutsk (Ostsibirien) führt seit mehreren Jahren geophysikalische Meßkampagnen in Chernorud durch. Das Meßgebiet befindet sich am westlichen Ufer des Baikalsees und in unmittelbarer Nähe der Primorsky-Verwerfungszone, welche die Sibirische Plattform von der Baikaldepressionszone trennt.

Umfangreiche Transientelektromagnetik-, Gleichstromgeoelektrik- sowie Eigenpotentialmessungen wurden in den vergangenen Jahren in diesem Meßgebiet durchgeführt. Im folgenden werden die Interpretation der transientelektromagnetischen Messungen mit eindimensionalen Inversionsrechnungen, die geoelektrischen Kartierungen und Eigenpotentialdaten vorgestellt, sowie die daraus abgeleitete Tektonik der Baikalseeregion diskutiert.

## 2 Meßgebiet und Motivation

Hauptmerkmal der Regionalgeologie der Baikalseeregion ist das Aufeinandertreffen zweier großer tektonischer Einheiten, der Sibirischen Plattform und der heterogenen Baikalseestörungszone. Metamorphe, sedimentäre und magmatische Gesteine der Region sind in Präkambriumalter und durch mehrfache Metamorphose stark gefaltet. **Abb. 1** zeigt eine vereinfachte geologische Karte des Meßgebietes, auf der die Lage der geophysikalischen Meßprofile eingezeichnet sind.

Es existieren hauptsächlich metamorphe Gesteine des Präkambriums sowie Amphibole, Gneise, Quarzite usw. Die Streichrichtung der Oberflächengeologie wird durch 2 große Verwerfungen kontrolliert: der Primorsky Verwerfung im Westen und der Kuchulga Verwerfung im Osten, die NW-SO streichen und deren Lage in **Abb. 1** mit der Nummer 1 und 7 gekennzeichnet sind. Zwischen diesen Verwerfungen existieren noch weitere geologisch kartierte Verwerfungen in der gleichen Streichrichtung. Nach Kuklej (1985) und Mats (1992) sind horizontale Schichtungen in dem Meßgebiet nicht zu erwarten. Vielmehr erwartet man dort steilstehende Schichten, deren Lage auf **Abb. 2** skizziert ist.

Die geophysikalischen Messungen konzentrierten sich auf den Bereich zwischen der Primorsky und Kuchulga Verwerfung. Diese Schichten bilden steile, zusammengepreßte Isoklinalfalten, die teilweise erodiert sind. Im Ganzen stellen diese Isoklinalfalten eine mehr als 2.5 km breite leicht abfallende Synklinale dar. In den Gesteinsschichten (Kalzit, Marmor, Quarzit) wurde auch Graphit kartiert, der durch die Metamorphose aus organischem Material gebildet wurde.

Wegen der starken Metamorphose kann keine Information über die Fortsetzung der Oberflächengeologie mit der Tiefe abgeleitet werden. Umfangreiche geophysikalische Messungen (TEM, Eigenpotential, Geoelektrik) sollten diese Lücke schließen. Unter Berücksichtigung der Oberflächengeologie soll dann über die Tektonik des Meßgebietes eine Aussage

gemacht werden.

### 3 Transientelektromagnetik-, Eigenpotential-, Geoelektrikmessungen und ihre Interpretationen

**Abb. 1** zeigt die Lage der geophysikalischen Profile AA, BB und CC. Sie verlaufen senkrecht zur Streichrichtung der kartierten Verwerfungen. Im folgenden werden die Meßdaten des Profils BB und deren Interpretation gezeigt. Die Beobachtungen auf den Profilen AA und CC sind ähnlich und bestätigen die auf dem Profil BB gewonnenen Ergebnisse.

TEM Messungen wurden an 19 Stationen mit der Inloop-Anordnung durchgeführt. 16 Stationen wurden zwischen der Primorsky und der Kuchulga Verwerfung und 3 außerhalb aufgebaut. Für die Anregung diente eine geschlossene Drahtschleife (200 m x 200 m), durch die ein starker Gleichstrom floß. Zur Zeit  $t=0$  wird der Strom abgeschaltet. Die Felder der im Boden induzierten sekundären Ströme konnten mit einer Empfängerspule (50 m x 50 m) ohne überlagertes Primärfeld registriert werden.

Es wurde ein in der Irkutsk State Technical University entwickeltes TEM Gerät benutzt, wobei die Stromstärke des Senders zwischen 1 A und 5 A variieren kann und die gemessenen Transienten in Abhängigkeit von dem spezifischen Widerstand des Untergrundes im Zeitintervall zwischen 0.2 ms und 40 ms aufgezeichnet werden.

Zur besseren Übersicht wurden zunächst alle gemessenen Transienten in scheinbare Widerstände umgerechnet und anschließend mit einem eindimensionalen Inversionsalgorithmus nach Marquardt (Eckard, 1993) interpretiert. Sie lassen sich meist gut mit 2- bzw. 3- Schichtmodellen anpassen.

**Abb. 3** zeigt als Beispiel Kurven des scheinbaren Widerstandes an 2 Stationen und ihre 1D Interpretation. Die Stationen liegen ca. 1.3 bzw. 1.4 km östlich von der Primorsky-Verwerfung.

Ein interessantes und wichtiges Ergebnis der TEM -Auswertung ist die gutleitfähige Schicht mit spezifischen Widerständen zwischen 1 und 30 Ohm-m in ca. 200 m Tiefe. Die 1D-Auswertung aller TEM Stationen zwischen den beiden Verwerfungen Primorsky und Kuchulga zeigen ähnliche Ergebnisse wie in **Abb. 3**, die in **Abb. 4** zusammengefaßt sind. Die meisten Stationen ließen sich mit 2- Schichtmodellen interpretieren, nur für einige konnten 3-Schichtmodelle angewandt werden, so daß für diese Stationen (12- 16 in **Abb. 3**) auch über die Mächtigkeit dieser gutleitenden Schicht eine Aussage möglich war. Station 16 befindet sich in unmittelbarer Nähe der Kuchulga Verwerfung, Station 1 ca. 700 m östlich der Primorsky Verwerfung. Die Existenz der gutleitenden Schicht unter den Stationen 1-16 ist nach der 1D-TEM Auswertung eindeutig, da sie nach der Inversionsstatistik gut aufgelöst wurde. Ohne diese gutleitende Schicht kann keine gute Anpassung zwischen Beobachtungen und Modelldaten erzielt werden.

Die gemessenen Transienten an den Stationen jenseits der großen Verwerfungen waren sehr kurz. Sie wurden als homogener Halbraum mit einem Widerstand von 1000 Ohm-m interpretiert und zeigen keinen Hinweis auf einen guten Leiter.

Ein anderes interessantes Merkmal in **Abb. 4** ist die stufenweise Änderung der Tiefe der gutleitenden Schicht. Interessanterweise korreliert diese Änderung mit den geologisch kar-

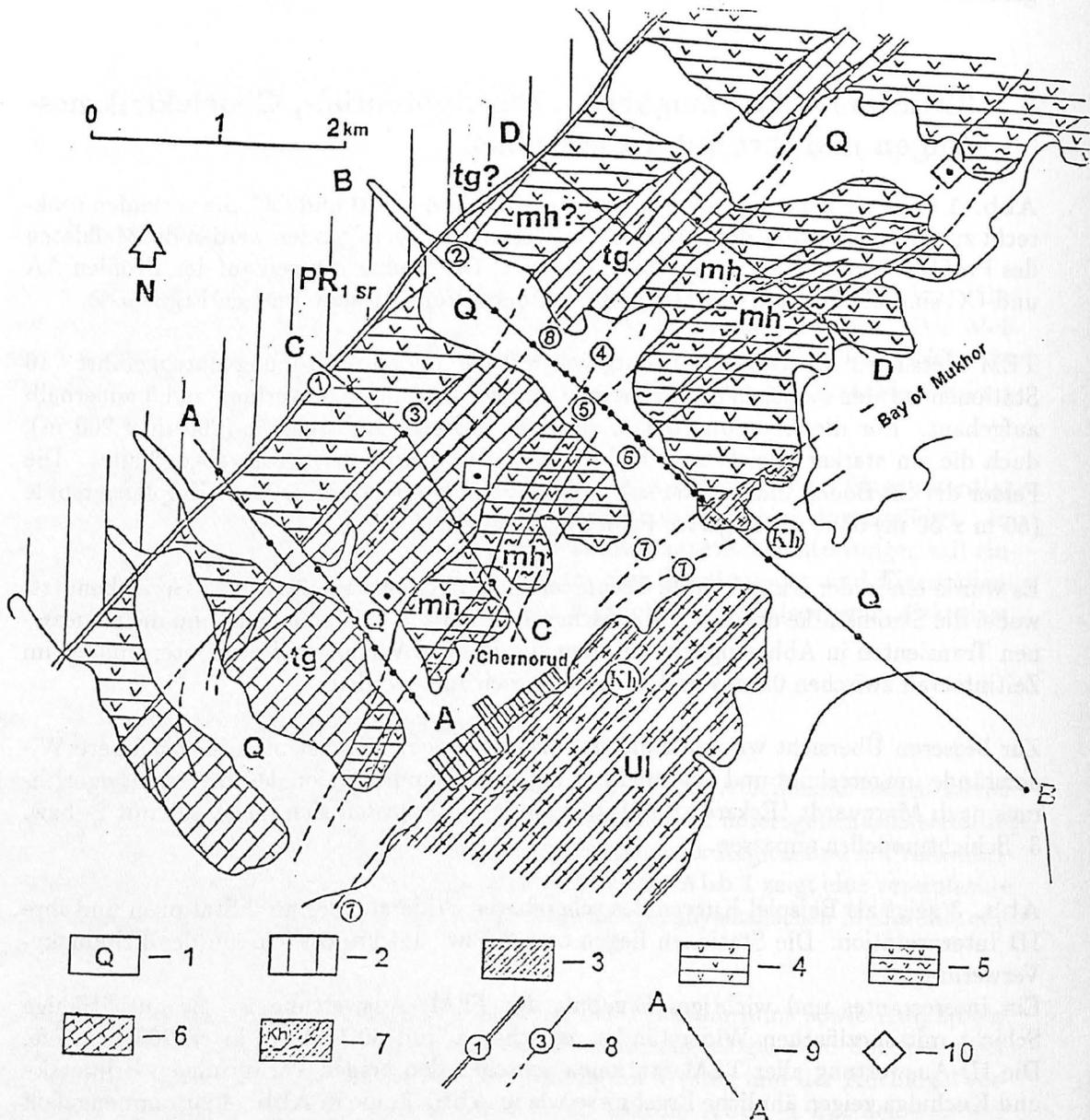


Abbildung 1: Geologische Karte des Meßgebietes mit geophysikalischen Profilen: 1, Quartär; 2, Sarma Serien (Quarzit); 3, Ulannur (Biotit, Gneis); 4, Mukhor (Amphibolit); 5, Granitisierte Gesteine; 6, Tageran (Marmor, Quarzit); 7, Khalbo Granitierungszone; 8, Primorsky- (1) und andere Verwerfungen; 9, Geophysikalische Profile und die Lage der TEM-Stationen; 10, TEM-Station außerhalb des Profils

Simplified geology of the Chermorud site

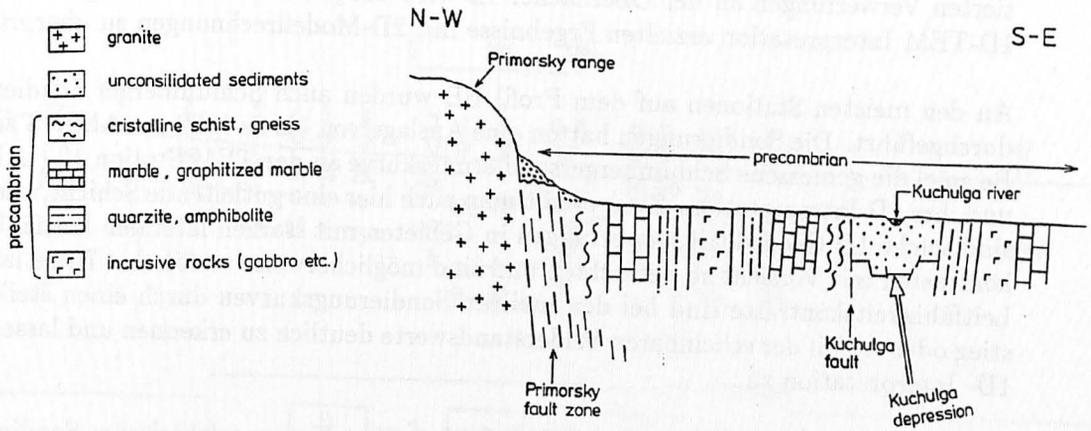


Abbildung 2: Vereinfachte geologische Vorstellung für das Meßgebiet vor den geophysikalischen Messungen

◇	<b>Measured Data</b>	2-Layer Model	◇	<b>Measured Data</b>	2-Layer Model																		
—	<b>Model</b>	<table border="0"> <tr> <td><math>\rho</math> [<math>\Omega\text{m}</math>]</td> <td><math>h</math> [m]</td> <td>Error</td> </tr> <tr> <td>159</td> <td>121</td> <td>6.76</td> </tr> <tr> <td>1.7</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	$\rho$ [ $\Omega\text{m}$ ]	$h$ [m]	Error	159	121	6.76	1.7			—	<b>Model</b>	<table border="0"> <tr> <td><math>\rho</math> [<math>\Omega\text{m}</math>]</td> <td><math>h</math> [m]</td> <td>Error</td> </tr> <tr> <td>131</td> <td>148</td> <td>5.67</td> </tr> <tr> <td>2.5</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	$\rho$ [ $\Omega\text{m}$ ]	$h$ [m]	Error	131	148	5.67	2.5		
$\rho$ [ $\Omega\text{m}$ ]	$h$ [m]	Error																					
159	121	6.76																					
1.7																							
$\rho$ [ $\Omega\text{m}$ ]	$h$ [m]	Error																					
131	148	5.67																					
2.5																							

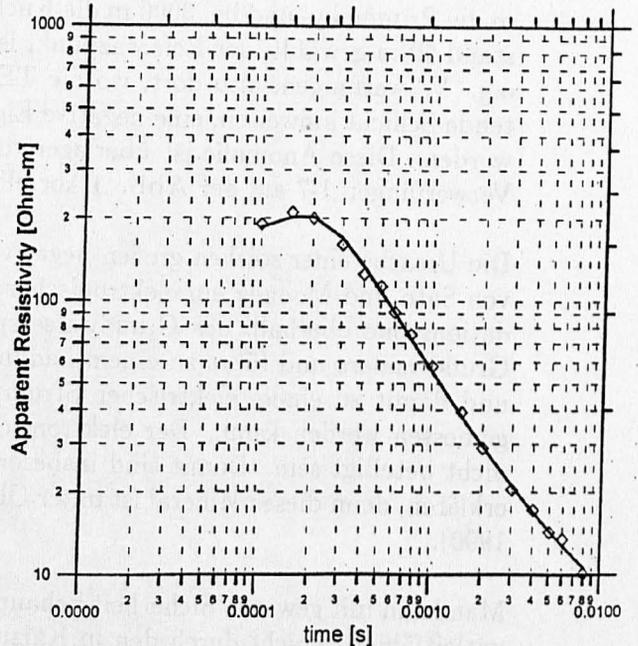
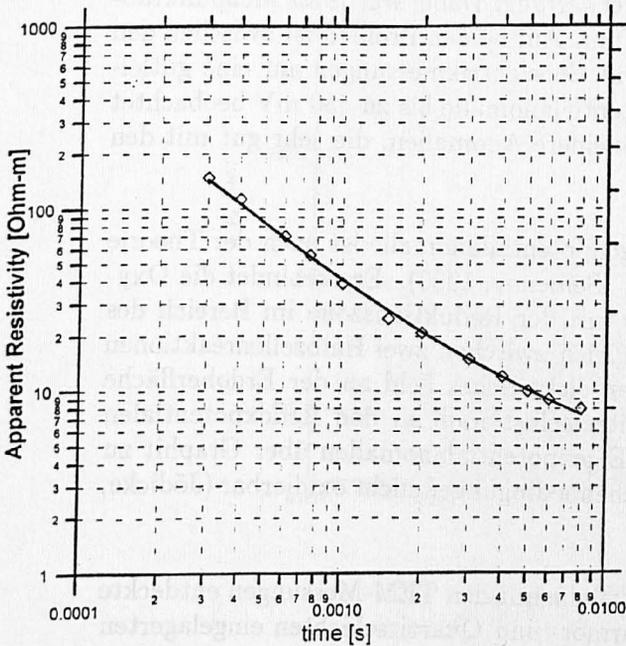


Abbildung 3: Scheinbare Widerstandskurven der TEM und ihre 1D Interpretation.

tierten Verwerfungen an der Oberfläche. Es wird auf jeden Fall notwendig sein, die mit 1D-TEM Interpretation erzielten Ergebnisse mit 2D-Modellrechnungen zu überprüfen.

An den meisten Stationen auf dem Profil BB wurden auch Schlumberger Sondierungen durchgeführt. Die Sondierungen hatten eine Auslage von bis zu 1000 m. **Abb. 5** zeigt als Beispiel die gemessene Schlumbergersondierungskurve an der TEM Station 12 (**Abb. 4**) und ihre 1D-Interpretation. Zwar erhält man auch hier eine gutleitende Schicht, allerdings sind solche 1D Geoelektrikauswertungen in Gebieten mit starken lateralen Leitfähigkeitskontrasten mit Vorsicht zu betrachten und sind möglicherweise verfälscht. Diese lateralen Leitfähigkeitskontraste sind bei den meisten Sondierungskurven durch einen steilen Anstieg oder Abfall der scheinbaren Widerstandswerte deutlich zu erkennen und lassen keine 1D- Interpretation zu.

Trotz der genannten Schwierigkeiten bei der Interpretation geoelektrischer Sondierungen wurde auf dem Profil BB eine Schlumbergerkartierung durchgeführt. Der Meßpunktabstand betrug 25 m, AB/2 wurde 100 m gewählt. **Abb. 6** stellt die Kartierungsergebnisse dar. Der Anfang der Kartierungen, (Punkt 0 auf der x-Achse) liegt 100 m östlich der Primorsky-Verwerfung, und die 6 km lange Kartierung überquert auf dem Profil BB alle geologisch kartierten Verwerfungen. Die Kartierungskurve wird stark von lateralen Leitfähigkeitsvariationen beeinflusst, die von der Oberfläche und vermutlich auch aus der Tiefe stammen. Das Profil überquert bei 100 m die Primorsky- und bei 3000 m die Kuchulgaverwerfung. Zwischen diesen Verwerfungen ist ein Minimum in den scheinbaren Widerstandswerten zu beobachten, das von lokalen Leitfähigkeitsvariationen überlagert wird, und bestätigt die Existenz der TEM Interpretation bezüglich des guten Leiters.

Die Existenz dieser gutleitfähigen Schicht und deren Eigenschaft sollte mit einer dritten geophysikalischen Methode untersucht werden. **Abb.7** zeigt Eigenpotentialdaten auf den Profilen BB und CC. Wie bei der Schlumbergerkartierung überquerten die Profile bei 100 m die Primorsky- und bei 3000 m die Kuchulgaverwerfung. Dabei wurde als Meßpunktabstand 50 m gewählt, der Referenzpunkt ist bei 0 m. Auf beiden Profilen ist zwischen den o.g. Verwerfungen, also dort, wo die TEM- und Geoelektrikmessungen auf eine gutleitende Schicht hinweisen, eine negative Eigenpotentialanomalie bis zu 450 mV beobachtet worden. Diese Anomalie ist überlagert durch kleinere Anomalien, die sehr gut mit den Verwerfungen 1-7 auf der **Abb. 1** korrelieren.

Die Ursache einer solchen großen negativen Eigenpotentialanomalie ist nach der Theorie von Sato und Mooney ein elektronischer Leiter (Semenov, 1980). Er verbindet die Oxydationszone oberhalb des Grundwasserspiegels mit der Reduktionszone im Bereich des Grundwassers und führt zu einem Ladungsausgleich zwischen zwei Halbzellenreaktionen und damit zu einem elektrischen Strom, dessen elektrisches Feld an der Erdoberfläche gemessen werden kann. Der elektronische Leiter selbst muß an den Redoxpotentialen nicht beteiligt sein. Damit sind insbesondere Eigenpotentialanomalien über Graphit zu erklären, denn dieses Mineral ist unter Oberflächenbedingungen nicht oxidierbar (Jödicke, 1990).

Man kann mit gewisser Sicherheit behaupten, daß die mit den TEM-Messungen entdeckte gutleitfähige Schicht durch den in Kalzit-, Marmor- und Quarzschichten eingelagerten Graphit repräsentiert wird.

Unter Berücksichtigung der geophysikalischen Interpretation wurde anschließend mit den Geologen ein geologisch-tektonisches Modell für das Meßgebiet abgeleitet, welches in **Abb.**

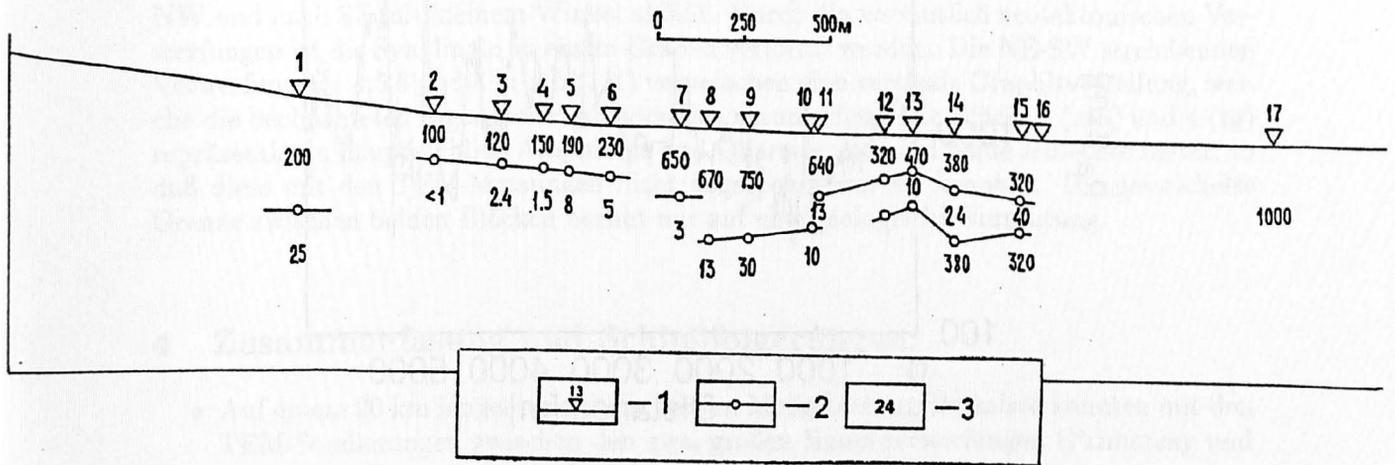


Abbildung 4: 1D Interpretation der TEM-Stationen auf dem Profil BB. 1: Die Lage der TEM-Stationen, 2: die Oberkante des guten Leiters, 3: die spezifischen Widerstände in  $\Omega m$

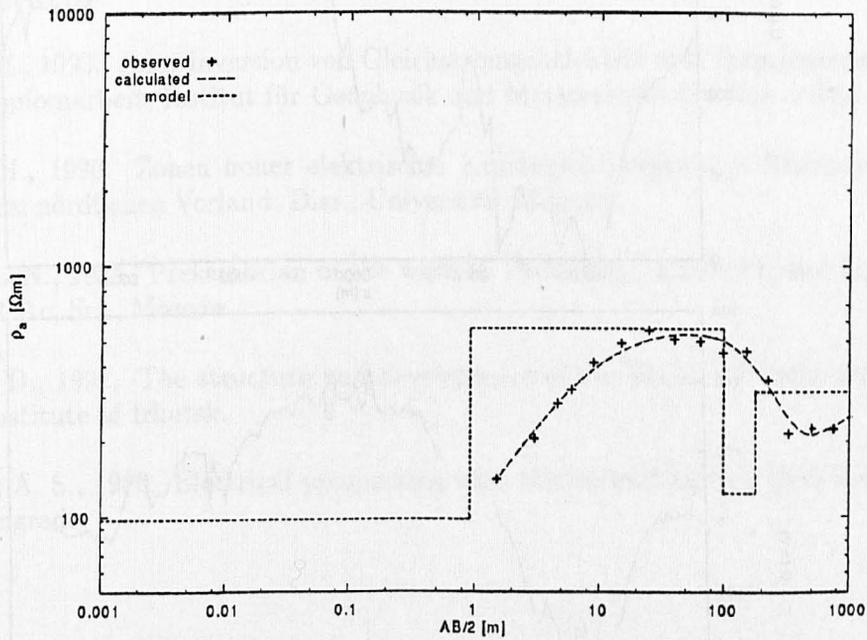


Abbildung 5: Schlumbergersondierungskurve an der TEM Station 12 und ihre 1D-Auswertung.

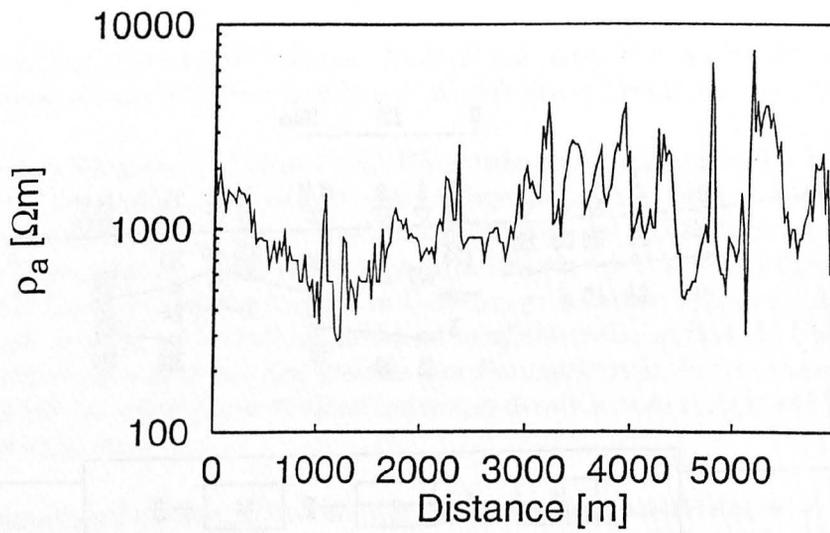


Abbildung 6: Schlumbergerkartierung auf dem Profil BB. Die Anordnung überquert bei 100 m die Primosky und bei 3000 m die Kuchulgaverwerfung.

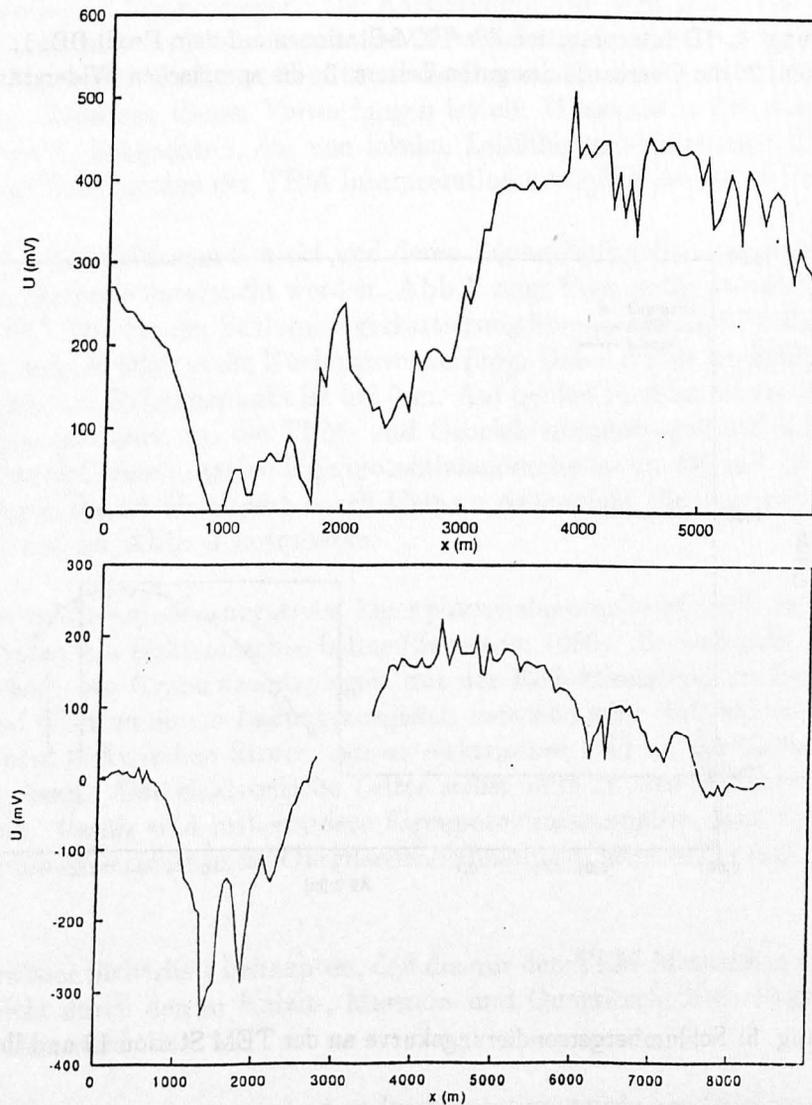


Abbildung 7: Eigenpotentialdaten auf den Profilen BB(oben) und CC(unten).

8 dargestellt wird. Als Basisstruktur kann man eine Synklinalstruktur annehmen, die nach NW und nach SE mit kleinem Winkel abfällt. Durch die vermutlich neotektonischen Verwerfungen ist die Synklinale zu einem Graben verformt worden. Die NE-SW streichenden Verwerfungen ( 4,5,6 und 8 in **Abb. 1**) verursachen eine vertikale Graphitverteilung, welche die beobachteten Eigenpotentialanomalien verursachen. Die Blöcke 3 (mh) und 4 (tg) repräsentieren hauptsächlich Amphibole und Quarzite und sind beide schlechte Leiter, so daß diese mit den TEM-Messungen nicht abgegrenzt werden konnten. Die gestrichelte Grenze zwischen beiden Blöcken beruht nur auf eine geologische Vermutung.

#### 4 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen:

- Auf einem 20 km langen und 6 km breiten Meßgebiet am Baikalsee konnten mit den TEM-Sondierungen zwischen den zwei großen Hauptverwerfungen (Primorsky und Kuchulga) eine gutleitende Zone in ca 200 m Tiefe kartiert werden.
- Eine Eigenpotentialanomalie mit Amplituden bis zu 450 mV wurde auf den TEM-Profilen gemessen, deren Ursache auf graphitführende Schichten in den metamorphen Gesteinen zurückzuführen ist.
- Aufgrund der Auswertungen der TEM-, Geoelektrik- und Eigenpotentialdaten läßt sich eine Synklinale als Basisstruktur vermuten, die durch mehrere Verwerfungen unterbrochen wird.

#### 5 Literatur

Eckard, M., 1993. Joint Inversion von Gleichstromgeoelektrik und Transientenelektromagnetik, Diplomarbeit, Institut für Geophysik und Meteorologie der Universität zu Köln.

Jödicke, H., 1990. Zonen hoher elektrischer Krustenleitfähigkeit im Rhenoharzynikum und seinem nördlichen Vorland, Diss., Universität Münster.

Kukleij, L. N., 1985. Prekambrian of the western Pribaikalje, Earth Physics Institute, of the USSR Ac, Sci., Moscow.

Mats, V. D., 1992. The structure and development of the Baikal rift depression. Polytechnic Institute of Irkutsk.

Semenov, A. S., 1980. Electrical prospecting with the natural electric field method, Nedra, Leningrad.

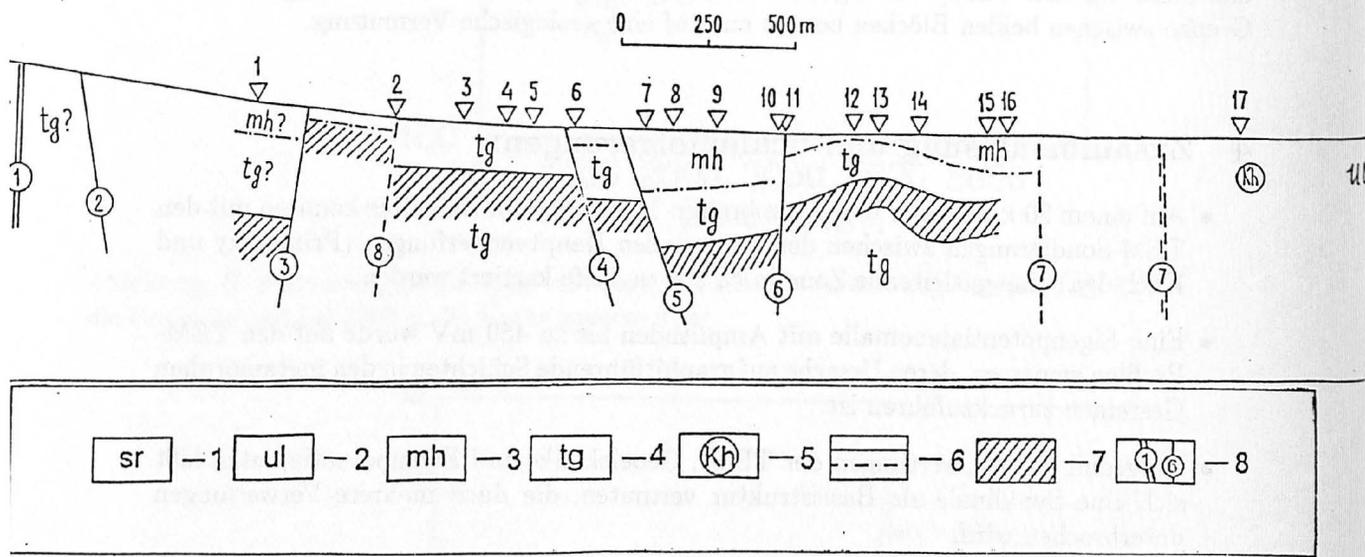


Abbildung 8: Geologisch-geophysikalisches Endmodell für das Meßgebiet. 1, Sarma Serien (Quarzit); 2, Ulannur (Biotit, Gneis); 3, Mukhor (Amphibolit); 4, Tageran (Marmor, Quarzit); 5, Khalbo Granitisierungszone; 6, Geologische Grenzen; 7, guter Leiter; 8, Primorsky und andere Verwerfungen.