

Erste Ergebnisse magnetotellurischer Messungen in Südmexiko

A. Jording, H. Jödicke

Institut für Geophysik der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

J. Arzate

Institut für Geophysik der UNAM, Research Center Queretaro, Mexiko

1 Einleitung

Die mexikanische Kruste ist im wesentlichen geprägt durch Terrane-Tektonik und den Subduktionsvorgang der Cocos-Platte an der Pazifikküste. Um Aussagen zur Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit im Tiefenbereich der mittleren und unteren Kruste bis hinab in den Bereich der abtauchenden Platte zu erhalten, wurden auf zwei Meßprofilen A-A' und B-B', die den gesamten Subkontinent von der Pazifikküste bis zum Golf von Mexiko überqueren, magnetotellurische Messungen durchgeführt (Abbildung 1).

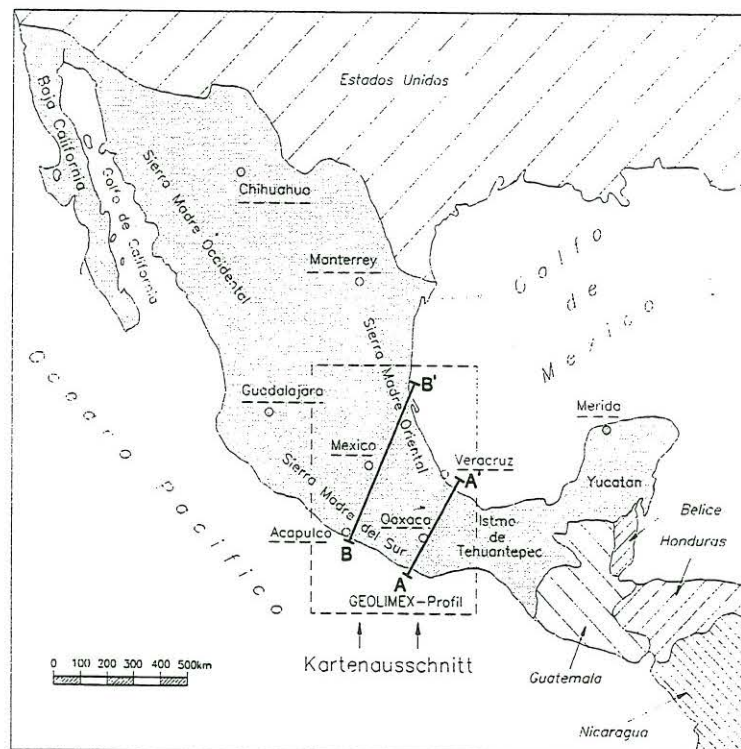


Abbildung 1: Karte von Mexiko mit den Meßprofilen A-A' und B-B'.

Spezielles Ziel des Meßprojekts war die Klärung der Frage, ob sich die Oberkante der von der Pazifikküste nach Norden einfallenden Cocos-Platte in den magnetotellurischen Messungen als eine Zone erhöhter elektrischer Leitfähigkeit bemerkbar macht. Weiterhin sollte untersucht werden, inwieweit sich einzelne Terranes hinsichtlich der Verteilung ihrer elektrischen Leitfähigkeit unterscheiden lassen und ob ihre Grenzen magnetotellurisch aufgelöst werden können.

2 Die Meßprofile

Die Messungen auf dem Profil A-A' umfassen 27 Magnetotellurikstationen mit einem mittleren Stationsabstand von 10 bis 12 km und einem erfaßten Periodenbereich von 0.25 s bis zu 4096 s. Das Profil verläuft in ca. N30°E Profilrichtung von der Hafenstadt Puerto Escondido an der Pazifikküste über die Provinzhauptstadt Oaxaca bis nach Tlacotalpan am Golf von Mexiko und entspricht dem GEOLIMEX-Profil (Geoseccion Litosfera de Mexico). Die Anbindung an das GEOLIMEX-Profil geschah vor allem, um die wichtigen geologischen Informationen von CAMPA & CONEY (1983) und ORTEGA-GUTIERREZ (1990) ebenso wie die Ergebnisse vorheriger magnetotellurischer Untersuchungen (ARZATE et al., 1995), der Refraktionsseismik (SPRANGER, 1994), der Seismologie (PARDO & SUAREZ, 1995) und gravimetrischer Messungen (RAMIREZ RUIZ, 1994) mit in die Auswertung integrieren zu können.

Parallel zu Profil A-A' wurde in ca. N18°E Profilrichtung von Acapulco an der Pazifikküste über die Hauptstadt Mexiko D.F. bis nach Tampico am Golf von Mexiko Profil B-B' mit insgesamt 48 Stationen vermessen. Analog zu Profil A-A' war ein mittlerer Meßpunktabstand von 10 bis 12 km angestrebt, der jedoch aus logistischen wie infrastrukturellen Gründen nicht immer realisiert werden konnte. Diese Messungen sollten der Absicherung der Ergebnisse dienen und ein detaillierteres Bild der subduzierenden Cocos-Platte liefern. Als Besonderheit quert Profil B-B' im nördlichen Teilabschnitt den Transmexikanischen Vulkangürtel (TMV in Abbildung 3).

Die Abbildung 2 zeigt die Lage der einzelnen Meßstationen.

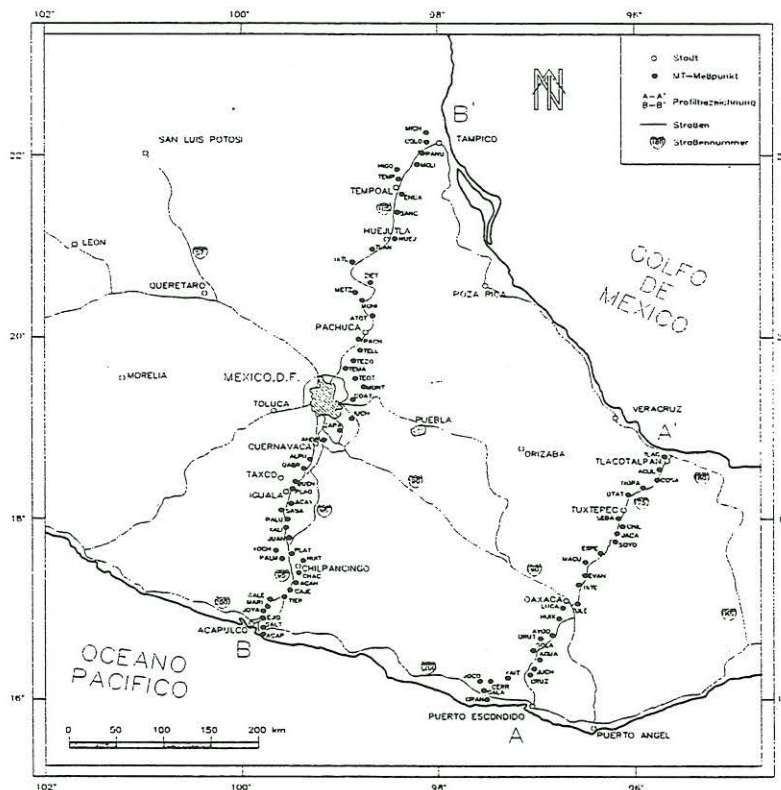


Abbildung 2: Lage der Meßstationen auf den Profilen A-A' und B-B'.

Während sich die Bearbeitung und Analyse der Daten für Profil A-A' in einem fortgeschrittenem Stadium befinden, liegen für Profil B-B' bisher nur vorläufige Ergebnisse vor. Im folgenden werden deshalb nur Ergebnisse von Profil A-A' vorgestellt.

3 Das Terrane Konzept: ein Aspekt der Geologie Süd Mexikos

Aus geologischer Sicht zeichnet sich Mexiko durch große Komplexität aus, d.h. es liegt ein Nebeneinander von Krustenfragmenten unterschiedlicher Gesteine, Deformationsgeschichte und Geochronologie vor. Viele dieser Krustenfragmente sind durch Zonen mylonitisierter Gesteine voneinander getrennt.

Im Rahmen des sich seit den 80er Jahren entwickelnden Konzepts der Terrane-Tektonik kamen CAMPA & CONEY (1983) zu dem Ergebnis, Mexiko als eine Fortsetzung der südlichen nordamerikanischen Kordillere zu interpretieren, deren Kruste zu 80 % aus sogenannten 'suspect' Terranes besteht. Die Abbildung 3 zeigt das Ergebnis ihrer tektonostratigraphischen Analyse für Mexiko, mit einer Vielzahl von Terranes.

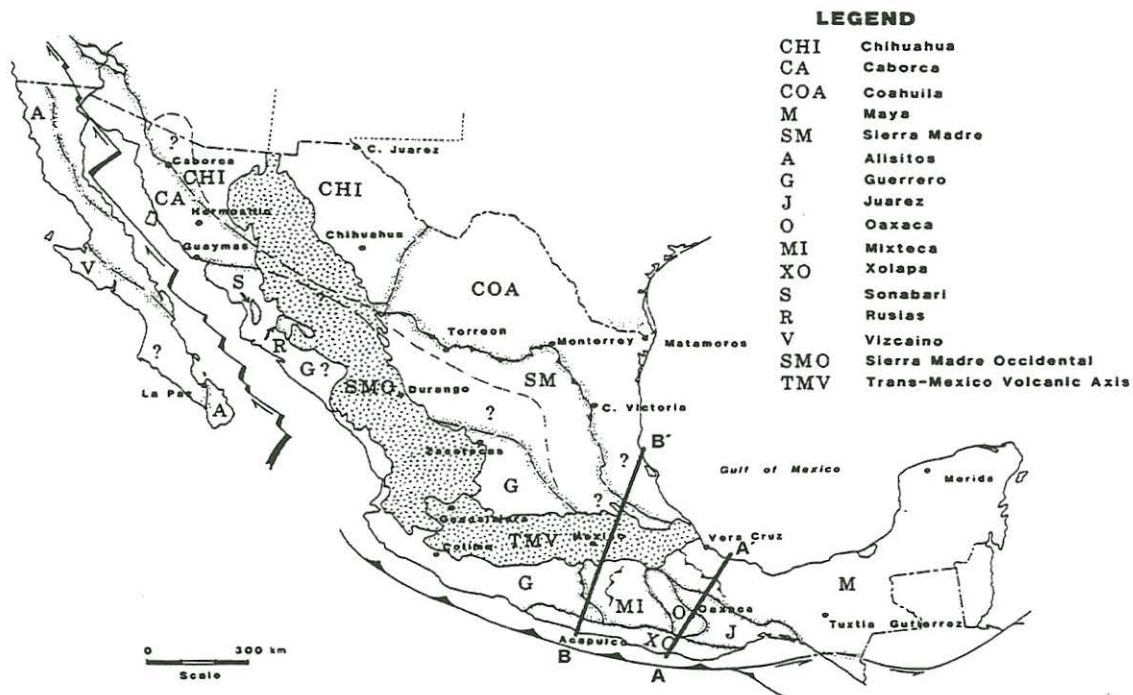


Abbildung 3: Terrane-Karte von CAMPA & CONEY (1983) für Mexiko, ergänzt um die Magnetotellurik Meßprofile A-A' und B-B'.

Neuere Arbeiten, z.B. von SEDLOCK et al. (1993), stimmen im wesentlichen mit der Einteilung von CAMPA & CONEY (1983) überein.

Da das Terrane-Konzept in bezug auf die Autochthonie, nicht aber auf die stratigraphische Gliederung teilweise in Frage gestellt wurde (z.B. RATSCHBACHER et al., 1991), wird im folgenden allgemein von geologischen Einheiten oder Komplexen gesprochen.

Nach der Einteilung von CAMPA & CONEY (1983) überstreicht das Profil A-A' vier geologische Einheiten. In der Abfolge von Süd nach Nord sind dies der Xolapa-Komplex (XO), der Oaxaca-Komplex (O), der Juarez-Komplex (J) und der Maya-Komplex (M). Nach Zuordnung der magnetotellurischen Übertragungsfunktionen zu diesen einzelnen Komplexen sind zum einen Ähnlichkeiten zwischen den Stationen der jeweiligen Komplexe, zum anderen deutliche charakteristische Unterschiede in den Kurvenverläufen zwischen verschiedenen Komplexen festzustellen. Die Abbildung 4 zeigt für jede geologische Einheit

eine repräsentative Übertragungsfunktion nach Drehung des Impedanztensors auf seinen individuellen, gemittelten Drehwinkel nach SWIFT (1967).

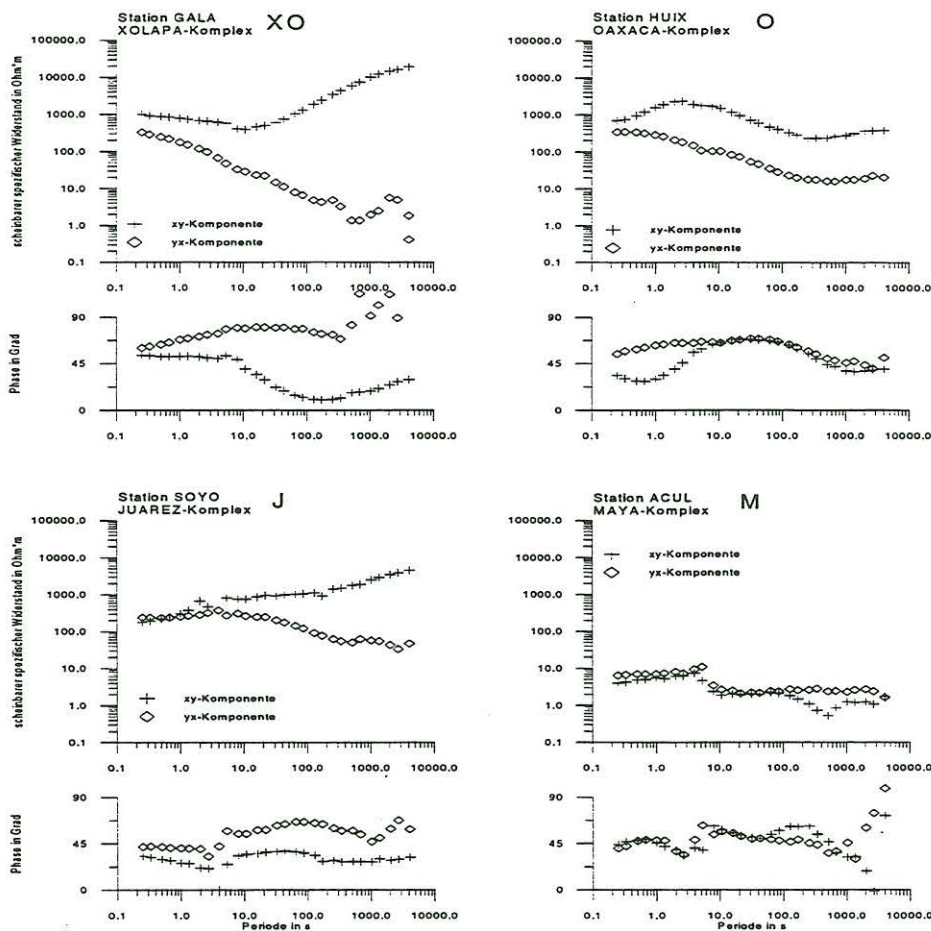


Abbildung 4: Charakteristische Übertragungsfunktionen für die betrachteten geologischen Einheiten.

Damit lassen sich die geologischen Komplexe (Terranes) auch anhand ihrer Leitfähigkeitsverteilung voneinander unterscheiden. Ein Auflösen der genauen Grenzen der geologischen Komplexe ist jedoch wegen des großen Abstandes zwischen den Meßpunkten nicht möglich.

4 Dimensionalität des Meßgebietes und erste Auswertung der Daten

Um einen Überblick über die Dimensionalität des Meßgebietes zu erhalten, ist in Abbildung 5 die Skewness, die für das Profil A-A' berechnet wurde, aufgetragen. Die Abzisse gibt die Entfernung auf dem Profil an und die Ordinate den Logarithmus der Periode, wobei große Periodenwerte größeren Tiefen entsprechen. Die Werte der Skewness nach SWIFT (1967) befinden sich mit geringen Ausnahmen unter 0,6, so daß eine zweidimensionale Auswertung noch vertretbar erscheint.

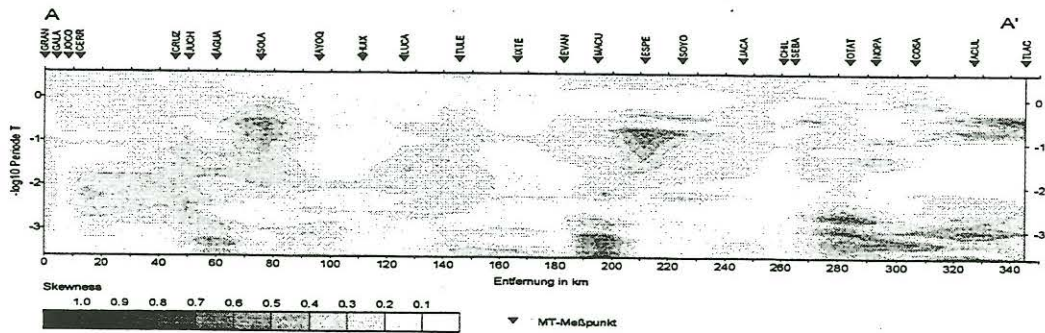


Abbildung 5: Werte der Skewness für Profil A-A', aufgetragen als Funktion der Entfernung auf dem Profil gegen den Logarithmus der Periode T.

Um einen ersten Eindruck der zu erwartenden Leitfähigkeitsverteilung zu erhalten, wird in Abbildung 6 eine Phasen-Pseudosektion für die Drehinvariante nach BERDICHEVSKY & DMITRIEV (1976) gezeigt. In dieser Darstellung werden Übergänge zu gutleitenden Zonen durch Phasenwerte über 45° (dunkle Grautöne) erkennbar, ohne daß sich zu erwartende 'static shift'-Effekte auswirken.

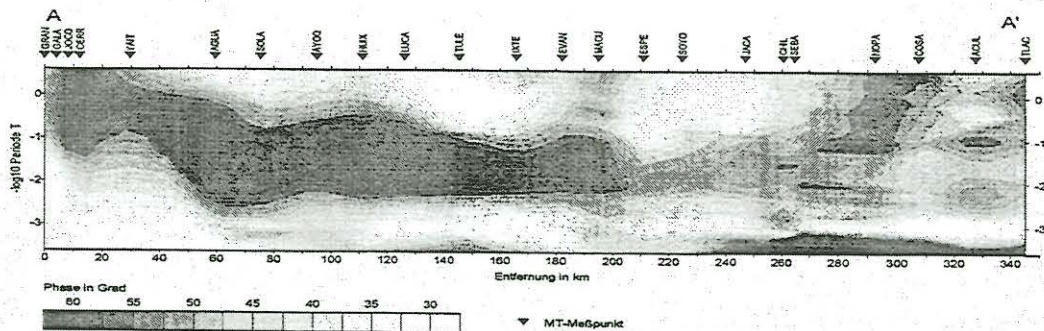


Abbildung 6: Phasen-Pseudosektion für das Profil A-A': Dargestellt sind die Phasenwerte der Berdichevsky-Drehinvarianten im Profilverlauf gegen den Logarithmus der Periode T.

Die qualitative Analyse dieser Phasen-Pseudosektion zeigt deutlich eine Zone mit Phasen über 45° , die von Süden her mit zunehmender Entfernung von der Pazifikküste ihren Schwerpunkt zu den größeren Perioden hin verlagert. Ohne Modellrechnung ergibt sich damit ein erster Hinweis auf die Existenz einer gutleitenden Zone die in größere Tiefen abtaucht, vorausgesetzt, die Widerstände der Deckschicht sind annähernd gleich.

5 Erste zweidimensionale Modellrechnungen

Die folgenden zweidimensionalen Inversionsrechnungen für das Profil A-A' wurden mit dem RRI-Algorithmus von SMITH & BOOKER (1991) durchgeführt, der aufgrund seiner Geschwindigkeit und des geringen Bedarfs an Rechnerressourcen zur ersten, überblicksweisen Bestimmung der zweidimensionalen Leitfähigkeitsverteilung sehr geeignet ist.

Der zweidimensionalen Modellrechnung geht die Bestimmung der regionalen Streichrichtung und damit die Zuordnung der Nebendiagonalelemente des Impedanztensors zur E- bzw. B-Polarisation voran. Um das Profil in seiner gesamten Länge von 350 km in die Modellrechnung eingeben zu können, sollte möglichst eine einheitliche Streichrichtung festgelegt werden.

Erste Modellrechnungen sowohl mit dem durch den Profilverlauf vorgegebenen Drehwinkel von 30° als auch mit individuellen Drehwinkeln wurden versucht.

Besonders sinnvoll erschien für die endgültige Modellierung die berechneten Drehwinkel aller einer geologischen Einheit zugeordneten Stationen zu mitteln, d.h. spezifische Drehwinkel für jeden dieser Komplexe zu bestimmen, so daß eine 2D-Modellrechnung aller Daten mit vier abschnittsweise verschiedenen Vorzugsrichtungen, die zwischen 13° und 49° variieren, vorgenommen werden konnte.

Da nach SMITH & BOOKER (1991) wegen der Genauigkeit der programminternen Vorwärtsmodellrechnung möglichst äquidistante Abstände zwischen den in die Modellierung eingehenden Stationen vorliegen sollen, wurden nur 20 der insgesamt 27 MT-Meßstationen berücksichtigt. Diese Meßpunkte sind in den folgenden Abbildungen mit Dreiecken gekennzeichnet.

Um zunächst einmal die zu erwartende 'static shift'-Problematik zu umgehen, wurden für die Modellierung in Abbildung 7 erst nur die Phasen der Übertragungsfunktionen in der Inversion berücksichtigt. Weitere Vorgaben waren ein $500 \Omega\text{m}$ Halbraum und ein Anpassungsfehler von 2 %. Geringe Widerstandswerte sind in der Darstellung mit dunklen Grautönen gekennzeichnet, hohe Widerstandswerte mit hellen.

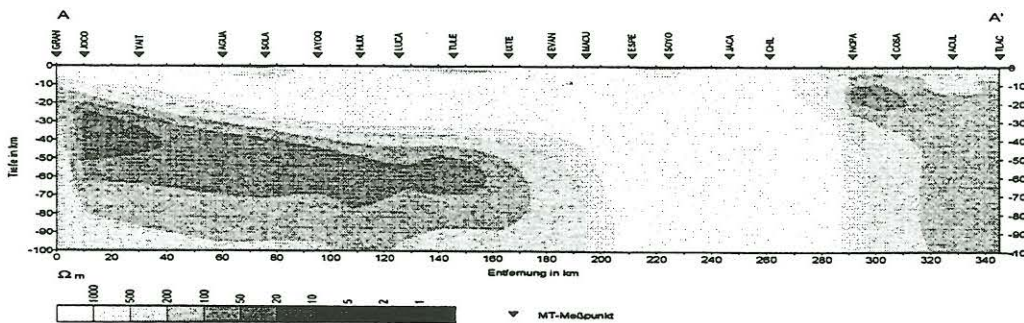


Abbildung 7: 2D-Inversionsmodell für das Profil A-A'. Es wurden nur die Phasen in der Inversion berücksichtigt, so daß nur die Struktur der Widerstandsverteilung von Interesse ist, nicht die Widerstände selbst.

Da die gemessenen scheinbaren spezifischen Widerstände nicht in die Inversionsrechnung eingehen, entsprechen die im Modell berechneten Widerstandswerte nicht der wahren Widerstandsverteilung, sondern spiegeln nur die grundsätzliche Struktur des Untergrunds

wider. Als wichtigstes Ergebnis dieser Modellierung bleibt festzuhalten, daß sich von der Pazifikküste her eine gutleitende Zone ins Landesinnere fortsetzt und mit zunehmender Entfernung von der Küste in größere Tiefen verlagert. Ab einer Entfernung von 120 km von der Küste erscheint der weitere Verlauf horizontal. Bei 200 km endet die gutleitende Zone.

Ein zweiter gutleitender Bereich tritt an der Küste zum Golf von Mexiko auf. Diese Struktur ist jedoch in ihrer Tiefenaussage stark überinterpretiert, da die aus gemessenen Widerständen und Phasen abgeschätzten Eindringtiefen nur Bereiche bis zu 20 km Tiefe erfassen.

Basierend auf den bisher gewonnenen Ergebnissen über den strukturellen Aufbau der mexikanischen Kruste wurden im folgenden zweidimensionale Inversionsrechnungen für die Komponenten der E- und B-Polarisation des Impedanzensors durchgeführt.

In einem ersten Schritt mußten Stationen, die durch 'static shift' in ihrem Widerstandsniveau verschoben sind, erkannt und entzerrt werden. Hier war die Zuordnung der MT-Stationen zu den einzelnen geologischen Komplexen von großem Nutzen, da bei gleichen Kurvenformen parallel verschobene Kurvenäste erkannt und korrigiert werden konnten. Insgesamt wurden so sechs vermutlich verzerrte Stationen mit Hilfe vermutlich unverzerrter Nachbarstationen entzerrt.

Für alle Stationen wurden daraufhin erneut die Drehinvarianten nach BERDICHEVSKY & DMITRIEV (1976) bestimmt, um daraus mit Hilfe des $\rho^*(z^*)$ -Verfahrens von SCHMUCKER (1970) eine Abschätzung der zu erwartenden Leitfähigkeiten und Eindringtiefen an den einzelnen Stationen zu erhalten. Die $\rho^*(z^*)$ -Kurven wurden in der Inversionsrechnung als Startmodell benutzt. Als Anpassungsfehler wurden 2 % vorgegeben.

In Abbildung 8 ist das Ergebnis der Inversionsrechnung dargestellt. Wiederum stellen dunkle Grautöne gutleitende Zonen und helle Grautöne schlecht leitende Zonen dar. Deutlich tritt eine Zone erhöhter Leitfähigkeit hervor, die sich an der Pazifikküste in ca. 15 km Tiefe befindet und mit zunehmendem Abstand zur Küste in größere Tiefen verlagert. Nach 120 Profilkilometern erreicht der gute Leiter eine Tiefe von 35 bis 40 km und scheint von dort an nahezu horizontal zu verlaufen, bis er in einem Abstand von 200 km zur Pazifikküste nicht mehr aufzulösen ist.

Ob dieser gute Leiter mit der Oberkante der subduzierenden Cocos-Platte gleichzusetzen ist, muß in weiteren Modellrechnungen und vor allem in Vergleichen mit den Ergebnissen der Seismik, Seismologie und Gravimetrie untersucht werden. Da nach HILDE (1983) große Mengen an Sediment im östlichen Pazifik subduziert werden, die sich bei einer entsprechenden Wassersättigung elektromagnetisch als guter Leiter widerspiegeln dürften, liegt der Schluß nahe, daß mit dem Ergebnis der 2D-Modellrechnung die Oberkante der abtauchenden Cocos-Platte lokalisiert werden konnte.

Magnetotellurische Messungen von ARZATE et al. (1994), die die ersten 100 km des südlichen Profilschnitts überdecken, zeigen ein ähnliches Bild. Ein vergleichbares Ergebnis, auch was den nahezu horizontalen Verlauf der Platte ab Profilkilometer 120 betrifft, erhielten PARDO & SUAREZ (1994) auf einem parallel verlaufenden Profilschnitt aus seismologischen Daten.

Die gutleitende Zone am Golf vom Mexiko im Nordteil des Profils kann durch wasser-gesättigte Sedimente erklärt werden, die sich dort im späten Jura bis zur unteren Kreide abgelagert haben.

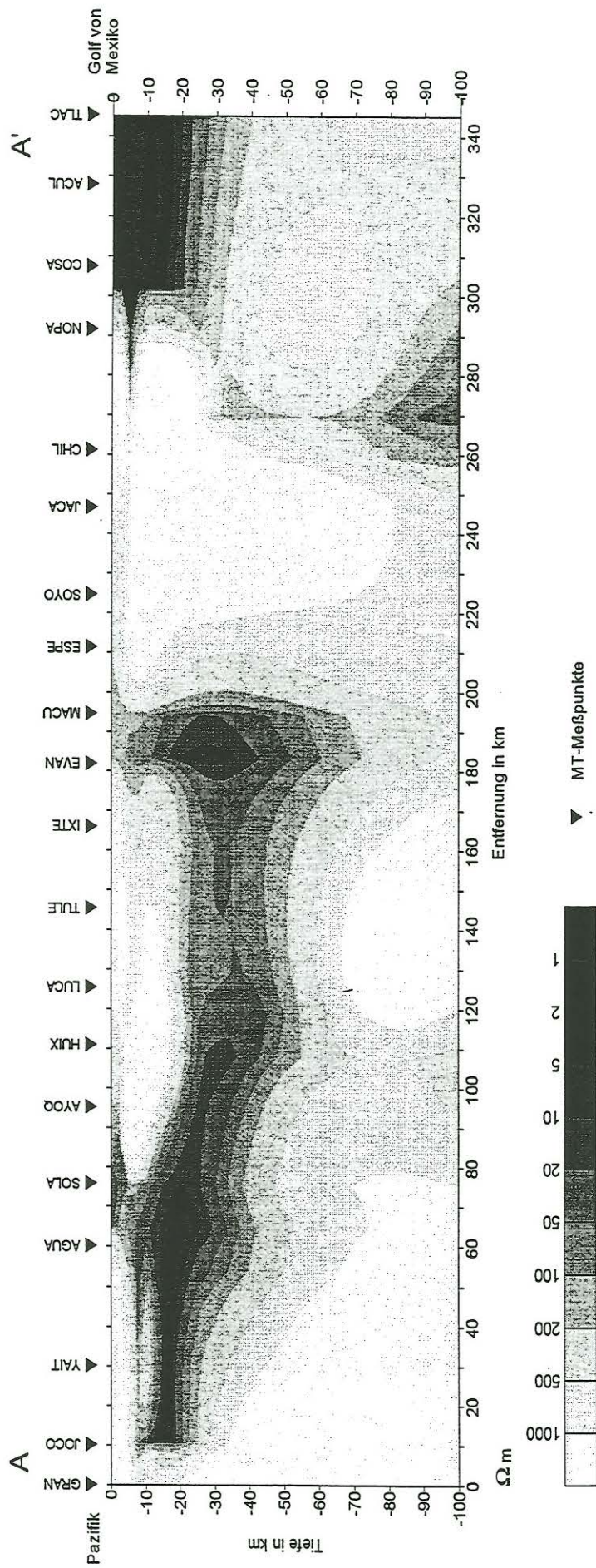


Abbildung 8: 2D-Inversionsmodell für das Profil A-A'. Nach Entzerrung der Eingangsdaten wurden die Komponenten der E- und B-Polarisation unter Verwendung eines Startmodells invertiert.

6 Zusammenfassung und Ausblick

In den magnetotellurischen Messungen auf dem Profil A-A' läßt sich deutlich eine gutleitende Zone nachweisen, die mit der Oberkante der subduzierenden Cocos-Platte korreliert werden kann. Sie fällt an der Pazifikküste mit einem Winkel von ca. 13° ein und scheint ab einer Entfernung von 120 km von der Küste eine annähernd horizontale Lage einzunehmen. Um dieses Ergebnis abzusichern, sollen weitere zweidimensionale Modellrechnungen, nun als Vorwärtsmodellrechnungen, durchgeführt werden. Dabei sollen verschiedene Möglichkeiten des Abtauchens der subduzierenden Platte modelliert und mit den realen Daten verglichen werden. Wichtige Hinweise werden ebenso von dem bereits vermessenen, parallel verlaufenden Profil B-B' erwartet, das nun in gleicher Form ausgewertet werden soll.

Die Einteilung Mexikos in verschiedene Terrane ist magnetotellurisch an den deutlich unterschiedlichen Verläufen der Übertragungsfunktionen festzumachen und bestätigt somit zumindest einen strukturellen Unterschied in den verschiedenen geologischen Komplexen. Ihre Grenzen lassen sich nicht exakt bestimmen, was durch den für eine solche Untersuchung zu groß gewählten Meßpunktabstand bedingt ist.

Literaturverzeichnis

- Arzate, J., Mareschal, M. & Livelybrooks, D. (1995): *Electrical image of the subducting Cocos plate from magnetotelluric observations*, *Geology*, v.23, no.8, p. 703-706.
- Berdichevsky, M.N. & Dmitriev, V.I. (1976): *Basic principles of interpretation of magnetotelluric sounding curves*, KAPG Geophysical Monograph, Budapest, p. 165-221.
- Campa, M.F. & Coney, P.J. (1982): *Tectonostratigraphic terranes and mineral resource distribution in Mexico*, *Can.J.Earth Sci.*, v.20, p. 1040-1051.
- Ortega-Gutierrez, F. (1990): *Ocean-Continent Transect H-3, Acapulco Trench to the Gulf of Mexico*, 1:500.000, *Geol. Soc. Am., Colorado*.
- Pardo, M. & Suarez, G. (1995): *Shape of subducted Rivera und Cocos plates in southern Mexico: Seismic and tectonic implications*, *JGR* 100, p. 12357 - 12373.
- Hilde, T.W.C. (1983): *Sediment subduction versus accretion around the Pacific*, *Tectonophysics*, Vol. 99, p. 381 - 397.
- Ramirez Ruiz, J.J. (1994): *Gravity and seismic interpretation of crustal structures at the pacific continental margin and along the GEOLIMEX transect in southern Mexico*, *Diss. Math.-Nat. Fak. Christian-Albrechts Univ. Kiel*.
- Ratschbacher, L., Riller, U. Meschede, M. Herrman, U. & Frisch, W. (1991): *Second look at suspect terranes in southern Mexico*, *Geology*, Vol. 19, p. 1233 - 1236.
- Schmucker, U. (1970): *Anomalies of geomagnetic variations in the southwestern United States*, *Bull. Scripps. Inst. Oceanogr., Univ. Calif.*, 13.
- Sedlock, R., Ortega-Gutierrez, F. & Speed, R.S. (1993): *Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico*, *Special Paper 278, Geological Society of America, Denver*, 153 pp.
- Smith, J.T. & Booker, J.R. (1991): *Rapid Inversion of Two- and Three-Dimensional Magnetotelluric Data*, *JGR*, Vol. 96, No. B3, p. 3905 - 3922.
- Spranger, M. (1994): *GEOLIMEX: Eine erste Geotraverse durch Südmexiko. Auswertung des refraktionsseismischen Profils*, *Diss. Math.-Nat. Fak. Christian-Albrechts Univ. Kiel*.
- Swift, C.M. (1967): *A magnetotelluric investigation of an electrical conductivity anomaly in the southwestern United States*, *Ph.D. Thesis, Geophys. Lab. MIT, Cambridge, (Mass.)*.