

# Die Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit im tieferen Untergrund von Südmexiko - abgeleitet aus magnetotellurischen Messungen

Alexander Jording<sup>1</sup>, Hartmut Jödicke<sup>1</sup> und Jorge Arzate<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster

<sup>2</sup> Unicit, Queretaro, Mexiko

## 1 Einleitung

Aktive Kontinentalränder, an denen ozeanische Lithosphäre unter kontinentale Lithosphäre subduziert wird, sind in vielen geologischen und geophysikalischen Studien untersucht worden, um Informationen über die Struktur von Subduktionszonen und die damit verbundenen tektonischen Prozesse wie Deformation und Akkretion zu erhalten. Als wichtige Beispiele sind die großangelegten, multidisziplinären Forschungsprojekte in Vancouver Island (Kanada) (z.B. KURTZ ET AL., 1986, 1990), in Oregon (USA) (z.B. BOOKER UND CHAVE, 1989) und in den Anden (Chile, Bolivien, Argentinien) (z.B. THE ANCORP WORKING GROUP, 1999) zu nennen.

Mexiko, mit seinem aktiven Kontinentalrand, befindet sich in einer der tektonisch aktivsten Regionen der Erde. Es ist Teil des zirkumpazifischen 'Ring of Fire', einem Bereich mit aktivem Vulkanismus und hoher seismischer Aktivität. Die komplex aufgebaute mexikanische Kruste zeichnet sich durch ein Nebeneinander von Krustenfragmenten unterschiedlicher Gesteine, Deformationsgeschichte und chronologischer Entwicklung aus (CAMPA UND CONEY, 1983). Tektonische Prozesse wie Subduktion, Akkretion, Krustendeformation, Plattensegmentierung und -verstümmelung haben somit ohne Zweifel eine wichtige Rolle für die Entwicklung von Mexiko gespielt (URRUTIA-FUCUGAUCHI, 1984).

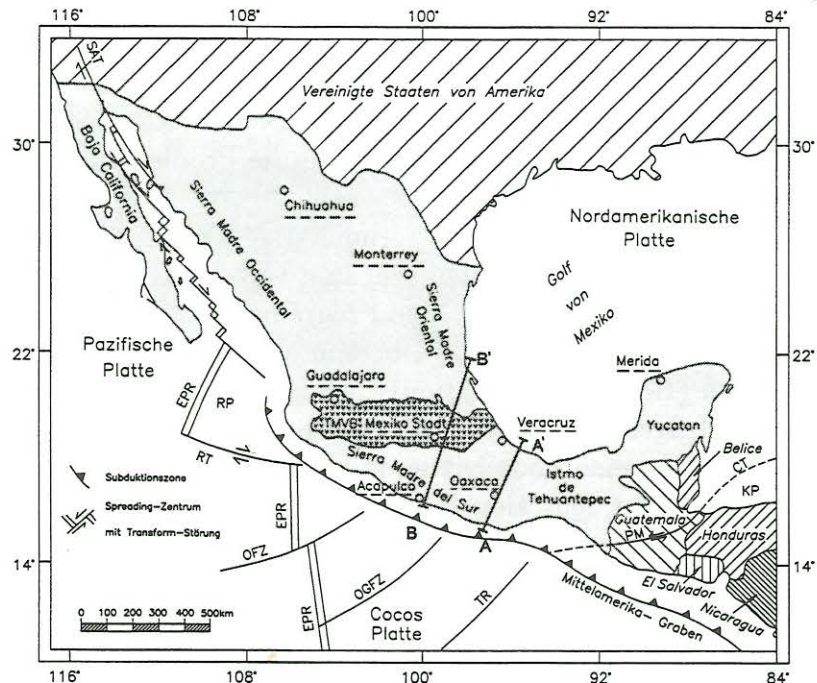
Aus geophysikalischer Sicht konnte gezeigt werden, daß die Seismizität und Tektonik des aktiven Kontinentalrands in Südmexiko durch die Subduktion der ozeanischen Cocos Platte und Rivera Platte hervorgerufen werden. Speziell eine Vielzahl von seismologischen Studien liefert ein recht differenziertes Bild der gesamten Subduktionszone (z.B. BURBACH ET AL., 1984, PARDO UND SUAREZ, 1995), das durch regionale seismische (z.B. VALDES ET AL., 1986; NAVA ET AL., 1988) und gravimetrische Modellstudien (z.B. COUCH UND WOODCOCK, 1981; KOSTOGLODOV ET AL., 1996) ergänzt wurde.

Einen wichtigen Beitrag über den Aufbau der Erdkruste in Südmexiko hat das multidisziplinäre GEOLIMEX-Projekt ('Geosección Litosférica Mexicana') geliefert (GEOLIMEX WORKING GROUP, 1994). Diese Geotraverse quert den gesamten Subkontinent von der Pazifikküste bis zum Golf von Mexiko und entspricht in Abbildung 1 dem Profil A-A'. Das Projekt umfaßte refraktionsseismische (GEOLIMEX WORKING GROUP, 1994; SPRANGER, 1994), gravimetrische (RAMIREZ RUIZ, 1994), geologische (STIBANE ET AL., 1994; BARBOSA, 1995) und nicht zuletzt magnetotellurische Untersuchungen.

Die Magnetotellurik kann mit der elektrischen Leitfähigkeit bzw. der aus dem Widerstands-Tiefen-Modell abgeleiteten integrierten Leitfähigkeit, dem Produkt aus Leitfähigkeit und Schichtdicke, in Verbindung mit Informationen über seismische Geschwindigkeiten und die Dichteverteilung einen wichtigen Parameter zur Klärung des stofflichen und strukturellen Aufbaus einer Subduktionszone liefern. Dabei ist die elektrische Leitfähigkeit des Untergrundes unmittelbar mit dessen petrologischen Eigenschaften verknüpft und läßt somit Aussagen über freigesetzte Fluide und deren Migration oder über die Existenz von Zonen partieller Schmelzen zu.

## 2 Feldmessungen und Datenauswertung

Auf zwei Meßprofilen A-A' und B-B' wurden in Südmexiko magnetotellurische Messungen durchgeführt, die den gesamten Subkontinent von der Pazifikküste bis zum Golf von Mexiko queren (Abbildung 1).



**Abbildung 1:** Mexiko in seiner tektonischen Umgebung mit den zwei magnetotellurischen Meßprofilen A-A' und B-B'. Abkürzungen: RP, Rivera Platte; KP, Karibische Platte; ERP, East Pacific Rise; RT, Rivera Bruchzone; OFZ, Orozco Bruchzone; OGFZ, O'Gorman Bruchzone; TR, Tehuantepec Rücken; SAT, San-Andreas Transform-Störung; PM, Polochic-Motagua-Störungssystem; CT, Cayman Trog; TMVB, Transmexikanischer Vulkangürtel (modifiziert nach BÖHNEL, 1985; ORTEGA-GUTIERREZ ET AL., 1994; PARDO UND SUAREZ, 1995).

Insgesamt wurden 75 Stationen vermessen, deren Übertragungsfunktionen die Datenbasis für die weitere Bearbeitung bilden. In einem ersten Schritt zur Interpretation der Daten erfolgte die Bestimmung der magnetotellurischen Vorzugsrichtungen und der Dimensionalität des Untergrundes. Diese beiden für die Auswertung und Modellierung entscheidenden Parameter wurden mit verschiedenen Verfahren berechnet.

Mit dem 'konventionellen' Verfahren nach SWIFT (1967) konnte gezeigt werden, daß viele Stationen stabile, d.h. periodenunabhängige Drehwinkel aufweisen, die eine Korrelation der magnetotellurischen Vorzugsrichtung mit der oberflächennahen Geologie und Tektonik zeigen (JORDING ET AL. 2000).

Da im Fall einer statischen Verzerrung durch oberflächennahe leitfähige Strukturen ('static shift') eine korrekte Bestimmung der Dimensionalität und der magnetotellurischen Streichrichtung nach SWIFT (1967) nicht möglich ist, wurden weiterhin auch die Verfahren von BAHR (1988, 1991) und GROOM UND BAILEY (1989) zur Dekomposition des Impedanzensors benutzt.

Eine zweidimensionale Modellierung beider Profile ist wegen der im wesentlichen unterhalb der Schranke von 0.3 liegenden Werte der 'phasensensiblen' Skewness nach BAHR (1991) vertretbar. Die mit den beiden Dekompositionsverfahren nach BAHR (1991) und GROOM UND BAILEY (1989) bestimmten Drehwinkel sind praktisch identisch. Da sie im insgesamt vermessenen Periodenbereich jedoch häufig nicht stabil sind,

wurde zur Bestimmung der Streichrichtung aus den Ergebnissen der Dekomposition nach BÄHR (1991) ein mittlerer Drehwinkel aus dem mittleren bis langen Periodenbereich bestimmt, der hinsichtlich der zugehörigen Eindringtiefe dem Tiefenbereich der subduzierten Cocos Platte zuzuordnen ist.

### 3 Zweidimensionale Modellierung

Die zweidimensionalen Modellrechnungen wurden für beide Meßprofile getrennt voneinander mit dem Inversionsalgorithmus 'd2inv' von MACKIE ET AL. (1997) durchgeführt, um jeweils ein optimales, unabhängiges Ergebnis für die Profile zu erhalten.

Da aufgrund der komplexen Geologie und Tektonik mit statischen Verzerrungen ('static shift') entlang der beiden Profile zu rechnen war, wurden alle Stationen vorher hinsichtlich einer solchen Verzerrung untersucht und verzerrte Stationen korrigiert.

Die Abbildung 2 (unten) zeigt das mit dem Programmpaket 'surfer' geglättete Endmodell für das Profil A-A', ergänzt um die Oberkante der abtauchenden Cocos Platte, wie sie von SPRANGER (1994) aus refraktionsseismischen Messungen ermittelt wurde. Die Topographie des Meßgebiets wurde in der Inversionsrechnung nicht berücksichtigt.

Als Startmodell wurde ein Modellgitter mit 83 horizontalen und 75 vertikalen Blöcken gewählt, für das im zentralen Bereich ein Widerstand von 500  $\Omega\text{m}$  vorgegeben wurde. An den Rändern wurde mit jeweils 0.3  $\Omega\text{m}$  der Einfluß des Pazifischen Ozeans und des Golfs von Mexiko berücksichtigt. Nach mehreren Inversionsversuchen hatte sich gezeigt, daß für den vorliegenden Datensatz ein 'error-floor' von 5% in Kombination mit einem Wert von 300 für den Regularisierungsparameter  $\tau$  zu sehr guten Anpassungen führt. In dieser Konfiguration hatte der Inversionsalgorithmus nach 34 Iterationsschritten einen mittleren quadratischen Fehler ('rms-error') von 6.87 erreicht.

Die als Resultat der Modellrechnung erhaltene Leitfähigkeitsverteilung ist im allgemeinen sehr stark geglättet, und ihre Auflösung nimmt mit zunehmender Tiefe ab ('logarithmisches Auge der MT'). So ist es in der Regel nicht möglich, Mächtigkeit und Leitfähigkeit einer Schicht exakt anzugeben. Im Gegensatz dazu wird die integrierte Leitfähigkeit, das Produkt aus Mächtigkeit und Leitfähigkeit einer Schicht, meistens gut aufgelöst.

Die integrierte Leitfähigkeit wird im allgemeinen bis zu einer bestimmten Tiefenlage, z.B. bis zum Basement eines Sedimentbeckens oder für bestimmte geologische Stockwerke (z.B. JÖDICKE, 1990) angegeben. In der vorliegenden Arbeit sind die Werte der integrierten Leitfähigkeit im Bereich der kontinentalen Kruste und des kontinentalen oberen Mantels bis zur Oberkante der subduzierten Cocos Platte von Interesse. Als Referenztiefe wurde deshalb (mit Ausnahme des Nordteils des Profils) die Oberkante der Cocos Platte aus den Ergebnissen der Refraktionsseismik von SPRANGER (1994) für das Profil gewählt. Die berechneten Werte der integrierten Leitfähigkeit entlang des Profils sind im oberen Teil der Abbildung 2 dargestellt.

Im Einflußbereich der Subduktion der ozeanischen Cocos Platte deuten sich drei Bereiche mit einer erhöhten integrierten Leitfähigkeit an. An diesen Stationen liegen Werte von über 2000 S vor. Die gut leitende Zone im nördlichen Profilschnitt bis zum Golf von Mexiko weist eine integrierte Leitfähigkeit von 8000 S auf.

Zur Modellierung von Profil B-B' wurde vergleichbar verfahren. Aufgrund der größeren Stationsanzahl wurde Profil B-B' in zwei Modellabschnitte aufgeteilt, die einzeln invertiert wurden. Beide Modellgitter bestanden aus 84 horizontalen und 75 vertikalen Blöcken. Als Startmodell wurde ein Widerstand von 300  $\Omega\text{m}$  im zentralen Bereich gewählt. Der Einfluß des Pazifischen Ozeans bzw. des Golf von Mexiko wurde wieder mit einem Widerstand von 0.3  $\Omega\text{m}$  berücksichtigt. Im Überlappungsbereich war

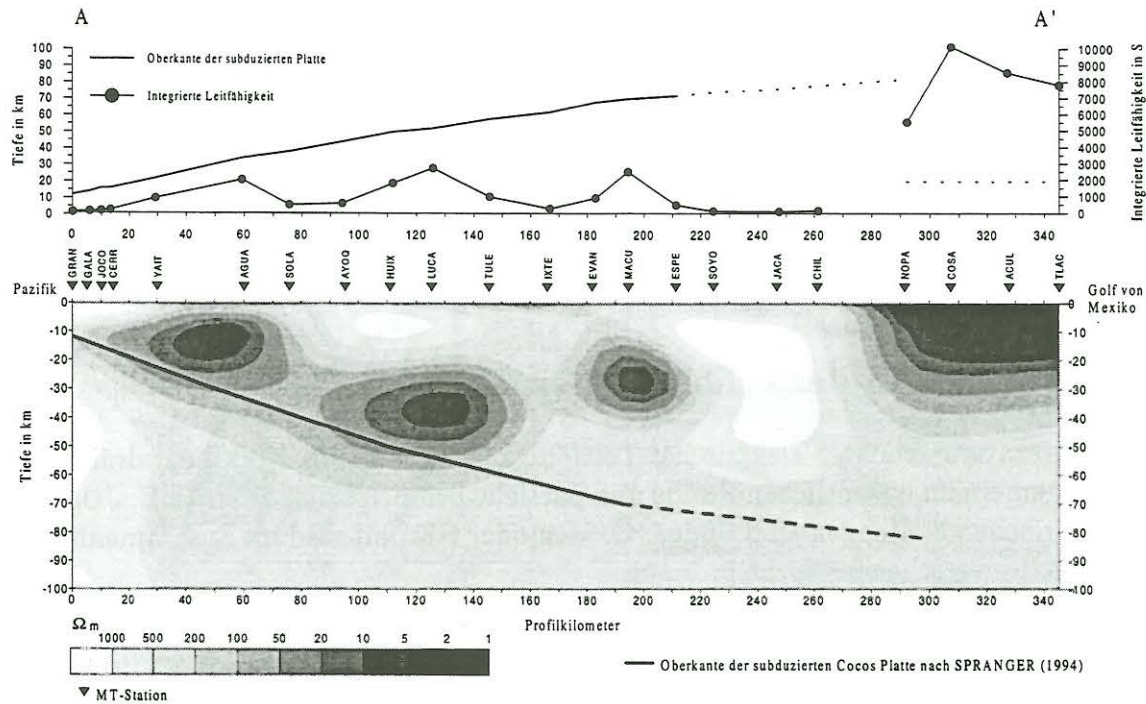


Abbildung 2: oben: Verteilung der integrierten Leitfähigkeit an den Stationen von Profil A-A'. Als Referenztiefe zur Berechnung der integrierten Leitfähigkeit wurde die Oberkante der subduzierten Cocos Platte nach SPRANGER (1994) verwendet, im Nordteil die 20 km Tiefenlinie. unten: Widerstands-Tiefen-Modell für das Profil A-A'. Endergebnis der Inversion der magnetotellurischen Daten mit dem Programm 'd2inv' von MACKIE ET AL. (1997), ergänzt um die Oberkante der subduzierten Cocos Platte nach SPRANGER (1994).

die Übereinstimmung der Profilstücke so gut, daß ein Aneinandersetzen des südlichen und des nördlichen Teilstücks leicht möglich war. Das Ergebnis ist in Abbildung 3 zu sehen. Ergänzend ist die Oberkante der abtauchenden Cocos Platte aus dem seismologischen Modell von PARDO UND SUAREZ (1997) in das Widerstands-Tiefen-Modell eingetragen.

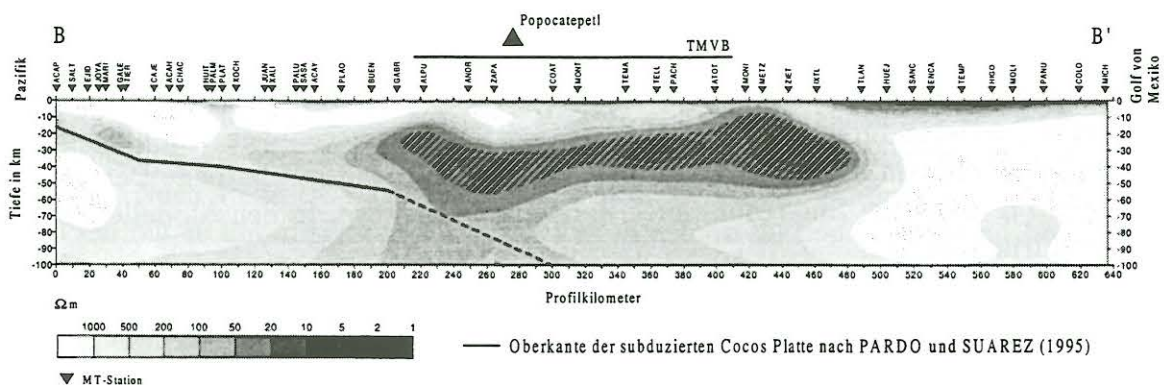


Abbildung 3: Widerstands-Tiefen-Modell für das Profile B-B'. Hervorgehoben ist der Bereich der gut leitenden Zone unterhalb des Transmexikanischen Vulkangürtels (TMVB).

Aufgrund der teilweise geringen Datenqualität in den kurzen Perioden sind im vorliegenden 'Endmodell' von Profil B-B' nur die Daten ab einer Periodenlänge von 8 s in die Inversionsrechnung eingegangen. Als integrierte Leitfähigkeiten wurden im küstennahen Bereich Werte von ca. 200 S erreicht. Unterhalb des Transmexikanischen Vulkangürtels, der als dominierende Struktur den zentralen Bereich von Profil B-B' prägt, konnte eine ausgedehnte Zone mit hoher Leitfähigkeit bestimmt werden, die sich über ca. 300 km erstreckt und eine durchschnittliche integrierte Leitfähigkeit von  $\sim 4100$  S besitzt. Die sich nach Norden bis zum Golf von Mexiko anschließende gut leitende Zone erreicht im Durchschnitt 560 S.

#### 4 Interpretation der erhöhten Leitfähigkeit

Zur Interpretation erhöhter elektrischer Leitfähigkeit an aktiven Kontinentalrändern werden allgemein im wesentlichen fluide und partielle Schmelze diskutiert (z.B. JONES, 1993). Ausreichende Mengen an Sulfiden, Oxiden oder Graphit sind im Zusammenhang des Subduktionsgeschehens nicht bekannt.

Als Quellen für das Wasser stehen wassergesättigte, subduzierte Sedimente, die ozeanische Kruste, die große Mengen an Porenwasser und gebundenem Wasser in Mineralen (z.B. Tonmineralen) bzw. Kristallwasser in hydrothermal veränderten und metamorphisiertem Basalt beinhaltet, und möglicherweise der obere ozeanische Mantel (Serpentinisierung) zur Verfügung.

Grundlegend für das Verständnis der möglichen Reaktionen, die zur Freisetzung von Wasser führen, ist das Konzept der 'metamorphen Fazies'. Die metamorphen Fazies entsprechen einer Zusammenstellung von Mineralen, die unter gleichen Druck-Temperatur-Bedingungen gebildet werden. Die Abbildung 4 (links) zeigt das p-T Diagramm mit den acht prinzipiellen metamorphen Fazies.

In einem Schnitt durch eine Subduktionszone sind im oberen Teil der Abbildung 4 (rechts) Isothermen aufgetragen, die durch die kühlere ozeanische Lithosphäre in der Subduktionszone nach unten und im Bereich des magmatischen Bogens durch das aufsteigende Magma noch oben gezogen werden. Die im unteren Teil der Abbildung aufgetragene Verteilung der metamorphen Fazies stellt die prograde Metamorphose von der Zeolith- über die Prehnit-Pumpellyit-, Blauschiefer- bis zur Eklogit-Fazies innerhalb der Subduktionszone dar.

Durch prograde Metamorphose der hydratisierten ozeanischen Kruste werden im Subduktionsprozeß große Mengen an Wasser freigesetzt, das in die darüberliegende kontinentale Kruste und den kontinentalen Mantel migriert und dort die thermische und rheologische Entwicklung beeinflusst. In Tiefen von 80 - 150 km stellt das freigegebene Wasser einen Auslöser für partielle Schmelzen dar. Da sich freigesetztes Wasser und partielle Schmelze durch erhöhte elektrische Leitfähigkeit gegenüber dem umgebenden Gestein auszeichnen, ist zu erwarten, daß sich entsprechend gut leitende Bereiche und Zonen, d.h. mögliche Entstehungsorte und Migrationswege, in den Modellen der Magnetotellurik abbilden.

Die Vorstellung ausreichender Mengen an Fluiden durch Dehydrationsreaktionen soll im folgenden als Erklärung der Entstehung gut leitender Zonen im Bereich der Subduktionszone zugrunde gelegt werden. Die Abbildung 5 (oben) zeigt als Ausgangspunkt noch einmal das zweidimensionale magnetotellurische Widerstands-Tiefen-Modell für das Profil A-A' (vgl. Abbildung 2). Die Referenztiefe für die Oberkante der subduzierten Cocos-Platte von SPRANGER (1994) wurde als wichtiger Ausgangspunkt für die Interpretation in die untere Darstellung eingetragen. Als geothermischer Gradient wird der Wert von  $10^{\circ}\text{C}/\text{km}$ , der als charakteristisch für Subduktionszonen angesehen

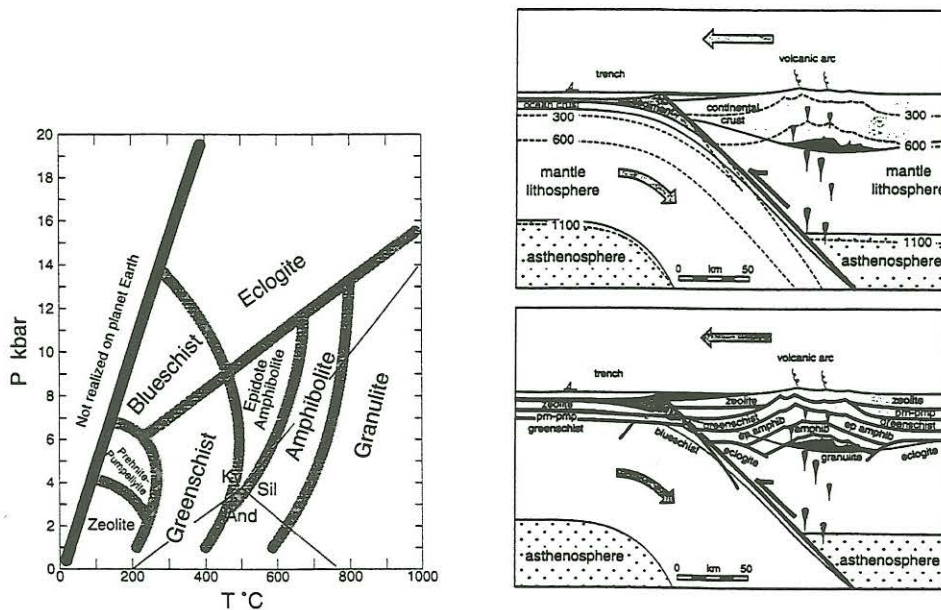


Abbildung 4: links:  $p$ - $T$  Diagramm mit den acht prinzipiellen metamorphen Fazien. rechts: schematischer Schnitt durch eine Subduktionszone; oben: Temperaturverteilung, unten: zugehörige Verteilung der metamorphen Fazien aufgetragen (nach ERNST 1973); alle Abbildungen entnommen aus SPEAR, 1993).

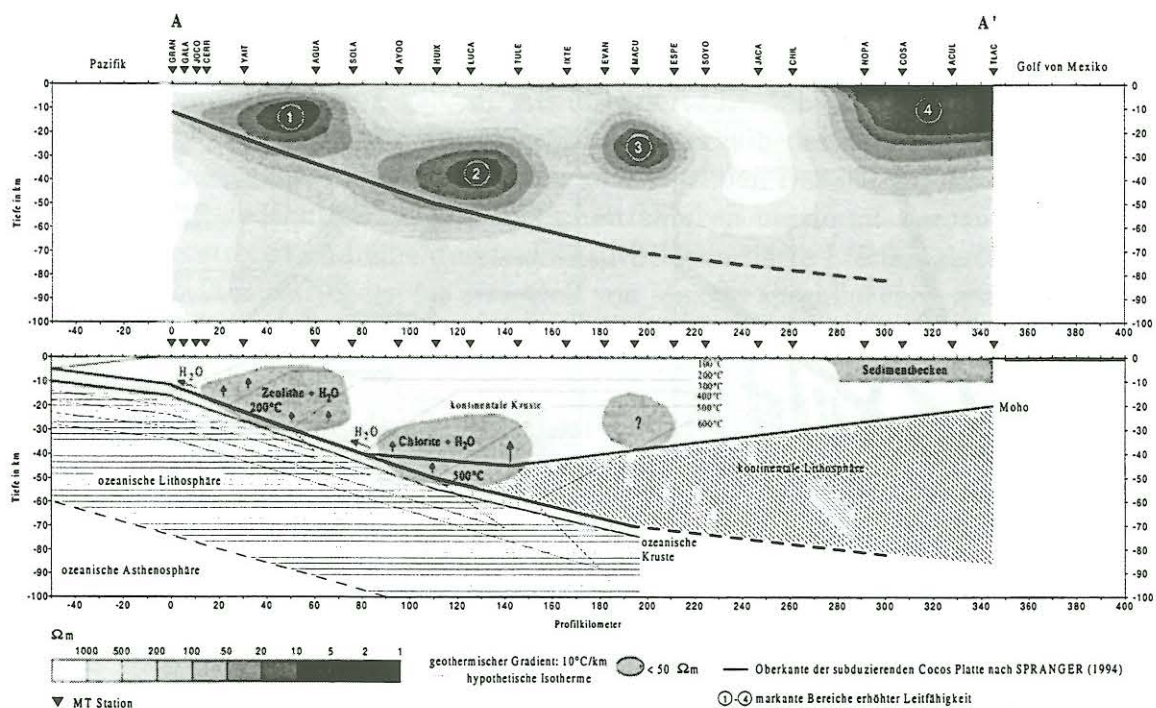
wird (z.B. BROWN UND MUSSET, 1981), angenommen. Für diesen Gradienten sind im unteren Teil von Abbildung 5 schematisch Isothermen für den Bereich der abtauchenden ozeanischen Lithosphäre und der kontinentalen Kruste bzw. des kontinentalen Mantels in Anlehnung an modellierte Temperaturverteilungen innerhalb von Subduktionszonen von VAN DEN BEUKEL UND WORTEL (1988) eingezeichnet.

Da sich die Interpretation des magnetotellurischen Modells auf die mit ① bis ④ bezeichneten Bereiche erhöhter Leitfähigkeit konzentriert, wurden in die untere Abbildung nur diese Bereiche mit Widerstandswerten  $< 50 \Omega\text{m}$  übertragen.

Der erste Bereich erhöhter Leitfähigkeit (Markierung ①) befindet sich mit einer Tiefenerstreckung von bis zu 30 km im flachen Teil der Subduktionszone. Die Temperaturen an der Oberkante der subduzierten Cocos Platte liegen in einem Intervall von ca.  $100^\circ\text{C}$  bis  $300^\circ\text{C}$ .

In diesem oberflächennahen, gut leitenden Bereich können im wesentlichen drei Prozesse als Quellen für Wasser angenommen werden: Mit zunehmendem lithostatischen Druck werden zunächst freie Wässer aus den Porenräumen der Sedimentbedeckung und aus den Porenräumen und Bruchzonen der ozeanischen Kruste herausgepreßt. Nach PEACOCK (1990) wird der größte Teil der Porenwässer in Tiefen von  $< 10$  km bis 40 km ausgestoßen. Durch Dehydrationsreaktionen aufgrund beginnender Metamorphose werden dann Tonminerale in den Sedimenten schrittweise zu Smektiten und möglicherweise Glimmern umgewandelt, was jeweils mit der Freigabe von Wasser verbunden ist. In der ozeanischen Kruste zersetzen sich schließlich Zeolithe unter den herrschenden Temperatur-Druck-Bedingungen unter der Abgabe von Wasser schrittweise zu Feldspat.

Der zweite Bereich erhöhter Leitfähigkeit (Markierung ②) erstreckt sich von 20 km bis in  $\sim 50$  km Tiefe. Das Temperaturintervall an der Oberkante der abtauchenden Platte reicht von  $400^\circ\text{C}$  bis  $550^\circ\text{C}$ . Nach SCHMIDT UND POLI (1998) stellen die Sedimente in diesem Tiefen- und Temperaturbereich keine bedeutende Quelle für Fluide



**Abbildung 5:** Widerstands-Tiefen-Modell für das Profil A-A' (oben; vgl. Abbildung 2) und Interpretation der Bereiche erhöhter elektrischer Leitfähigkeit (unten). Weitere Erläuterungen im Text.

mehr dar, so daß das gesamte Wasserbudget durch metamorphe Reaktionen innerhalb der ozeanischen Kruste und möglicherweise des ozeanischen Mantels erklärt werden muß. Als wahrscheinlichste Reaktion findet unter diesen p-T Bedingungen der Zerfall von Chlorit statt, der 10-12 Gew% chemisch gebundenes H<sub>2</sub>O enthält (z.B. SCHMIDT UND POLI, 1998). Da verschiedene Dehydrationsreaktionen in derselben Tiefe ablaufen können, stellt die Umwandlung von Chlorit nur eine mögliche, wenn auch die effektivste Wasserquelle dar.

Es ist anzunehmen, daß das in den Bereichen ① und ② freigesetzte Wasser durch Erhöhung des Porendrucks Porenraum oberhalb der subduzierten Cocos Platte öffnet. Vorstellbar ist aber ebenso, daß Wasser entlang der Übergangszone zwischen der ozeanischen Platte und der darüberliegenden kontinentalen Kruste bzw. dem kontinentalen Mantel migrieren kann. Die schwarzen Pfeile innerhalb der gut leitenden Bereiche sollen die möglichen Ausbreitungsrichtungen des freigesetzten Wassers verdeutlichen.

Der dritte Bereich erhöhter Leitfähigkeit (Markierung ③) befindet sich in der kontinentalen Unterkruste und steht offenbar in keiner direkten Verbindung zur abtauchenden ozeanischen Platte. Damit müssen weitere Interpretationsmöglichkeiten herangezogen werden. Sollte der Leiter grundsätzlich in Verbindung mit Dehydrationsreaktionen in der ozeanischen Kruste stehen, so müßte er durch Fluide erklärt werden, die dorthin migriert sind und möglicherweise unterhalb einer impermeablen Schicht gestaut werden. Eine solche Schicht ließe sich mit Hydrationsreaktionen und resultierender Volumenzunahme der Minerale an der 450°C Isotherme deuten. Neben diesem Ansatz kann aber auch versucht werden, diesen gut leitenden Bereich losgelöst vom Subduktionsprozeß zu interpretieren. Es ist auffällig, daß weltweit immer wieder gut leitende Bereiche in der mittleren kontinentalen Kruste angetroffen werden, die durch unterschiedliche Prozesse begründet werden. Im wesentlichen werden in diesem Zu-

sammenhang die elektrolytische Leitung durch vernetzte Fluide und die elektronische Leitung z.B. durch Kohlenstoff (Graphit) diskutiert (z.B. HAAK UND HUTTON, 1986; JONES, 1992). Bislang kann keine Erklärung favorisiert werden, so daß in Abbildung 5 (unten) dieser Bereich ③ mit einem Fragezeichen gekennzeichnet ist.

Der Bereich erhöhter Leitfähigkeit im nördlichen Profilabschnitt (Markierung ④) kann dagegen sicher durch dort vorhandene gut leitende Sedimente erklärt werden.

Die Interpretation der erhöhten Leitfähigkeit entlang von Profil B-B entspricht für die Bereiche ① und ② im wesentlichen dem Ansatz von Profil A-A'. Als dominierende Zone erhöhter Leitfähigkeit muß jedoch die weit ausgedehnte Anomalie (schraffierter Bereich in Abbildung 3) unterhalb des Transmexikanischen Vulkangürtels (TMVB) etwas ausführlicher diskutiert werden, da mehrere Möglichkeiten zur Interpretation herangezogen werden können.

Die gut leitende Zone erstreckt sich in ihrer horizontalen Ausdehnung noch über die Grenzen des TMVB hinweg und befindet sich im Mittel in  $\sim 30$  km Tiefe. Als mögliche Erklärungen für erhöhte Leitfähigkeiten in der unteren kontinentalen Kruste werden je nach geologisch-tektonischen Bedingungen Graphit, Sulfide, Fluide und partielle Schmelzen diskutiert (z.B. SCHILLING ET AL., 1997).

Dabei liegt es zunächst nahe, daß durch die fortlaufende Dehydration der ozeanischen Kruste bzw. des ozeanischen Mantels in die Unterkruste migriertes Wasser insbesondere im südlichen Teil der gut leitenden Zone den entscheidenden Beitrag zur erhöhten Leitfähigkeit liefert. Neben Wasser können aber auch partielle Schmelzen und Magmenreservoirs die Leitfähigkeit erhöhen. Der Vulkanismus im südlichen Teil des TMVB ist jung ( $< 1$  Ma) und charakterisiert durch prominente Vulkane wie z.B. den Popocatepetl, der im Quartär aktiv geworden ist. Er wird, wie der gesamte quartäre Vulkanismus in diesem Gebiet, der Subduktion der Cocos Platte zugeordnet (z.B. PARDO UND SUAREZ, 1995). Während die eigentlichen Magmenkammern der Vulkane die Leitfähigkeit nur lokal erhöhen, dürfte sich der Einfluß von partiellen Schmelzen auf ein sehr viel größeres Gebiet auswirken. Die Hypothese der partiellen Schmelzen wird u.a. durch eine von GOMBERG UND MASTERS (1988) beobachtete Zone niedriger seismischer Scherwellengeschwindigkeiten (3.3 km/s) unterhalb des TMVB und eine negative Bouguer-Anomalie ( $< -200$  mgal) (MOLINA-GRAZA UND URRUTIA-FUCUGAUCHI, 1993) im zentralen Bereich des TMVB unterstützt. Überschüssige Fluide aus metamorphen Reaktionen dürften hinzukommen.

Für die sehr gut leitende Zone an der nördlichen Grenze des TMVB kann aufgrund der vorliegenden geologischen wie geophysikalischen Informationen keine schlüssige Erklärung gegeben werden, aufsteigende heiße Wässer erscheinen als die wahrscheinlichste Begründung.

## 5 Zusammenfassung

Die mexikanische Kruste ist im wesentlichen durch Terrane Tektonik und den Subduktionsvorgang der ozeanischen Cocos Platte geprägt. Magnetotellurische Messungen entlang von zwei Meßprofilen, die den gesamten Subkontinent von der Pazifikküste bis zum Golf von Mexiko queren, bilden gut leitfähige Zonen ab, die mit dem Subduktionsprozeß im Zusammenhang stehen.

Den entscheidenden Beitrag zum Verständnis der Entstehung erhöhter Leitfähigkeit liefern aus mineralogischer Sicht die Vorgänge der prograden Metamorphose der subduzierten ozeanischen Lithosphäre. Die abtauchende ozeanische Kruste durchläuft verschiedene Stadien der Hochdruck-Faziesserie, bei denen es durch Druck- und Temperaturanstieg zur schrittweisen Dehydration von wasserhaltigen Mineralen kommt.



Dabei wird der Beitrag der Sedimente zum gesamten Wasserbudget als gering angesehen und scheint in größerer Entfernung vom Tiefsee graben und in größeren Tiefen keinen Einfluß mehr auf die vorliegende Leitfähigkeitsverteilung auszuüben.

Für die ausgedehnte, gut leitende Zone unterhalb des Transmexikanischen Vulkangürtels müssen wahrscheinlich mehrere Ursachen in Betracht gezogen werden. Eine Kombination aus durch Dehydratation freigesetzten Wässern, partieller Schmelze und Restfluide aus der Migmatisierung der Unterkruste erscheint am schlüssigsten.

Die oberflächennahen, gut leitenden Zonen, die sich im nördlichen Teil beider Profile bis zum Golf von Mexiko erstrecken, sind dagegen durch gut leitfähige Sedimente zu deuten.

## 6 Literaturverzeichnis

- The ANCORP Working Group (1999):** *Seismic reflection image revealing offset of Andean subduction-zone earthquake locations into oceanic crust*, *Nature*, **397**, pp. 341-344.
- Bahr, K. (1988):** *Interpretation of the Magnetotelluric Impedance Tensor: Regional Induction and Local Telluric Distortion*, *J. Geophys.*, **62**, pp. 119-127.
- Bahr, K. (1991):** *Geological noise in magnetotelluric data: a classification of distortion types*, *Phys. Earth Planet. Int.*, **66**, pp. 24-38.
- Barbosa, R. (1995):** *Regionalgeologische Erkundungen entlang der GEOLIMEX- Traverse in Süd-mexiko, unter besonderer Berücksichtigung der Sierra de Juárez, Oaxaca*, Dissertation, Univ. Clausthal-Zellerfeld.
- Böhnel, H. (1985):** *Paläomagnetische Untersuchungen an jurassischen bis quartären Gesteinen aus Zentral- und Süd-mexiko*, Dissertation, Inst. für Geophysik, Univ. Münster.
- Booker, J.R. and A.D. Chave (1989):** *Introduction to the special section on the EMSLAB-Juan de Fuca experiment*, *J. Geophys. Res.*, **94**, pp. 14093-14098.
- Brown, G.C. and A.E. Mussett (1981):** *The Inaccessible Earth*, George Allen & Unwin, London, Boston, Sydney, 235 pp.
- Burbach, G.V., C. Frohlich, W.D. Pennington, and T. Matumoto (1984):** *Seismicity and tectonics of the subducted Cocos plate*, *J. Geophys. Res.*, **89**, pp. 7719-7735.
- Campa, M.F. and P.J. Coney (1983):** *Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico*, *Can. J. Earth Sci.*, **20**, pp. 1040-1051.
- Couch, R. and S. Woodcock (1981):** *Gravity and structure of the continental margins of southwestern Mexico and northwestern Guatemala*, *J. Geophys. Res.*, **86**, pp. 1829-1840.
- Ernst, W.G. (1973):** *Blueschist metamorphism and P-T regimes in active subduction zones*, *Tectonophysics*, **17**, pp. 255-272.
- Gomberg, J. and T.G. Masters (1988):** *Waveform modeling using locked-mode synthetic and differential seismograms: Application to determination of the structure of Mexico*, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, **94**, pp. 1-20.
- Groom, R.W. and R.C. Bailey (1989):** *Decomposition of the Magnetotelluric Impedance Tensor in the Presence of Local Three Dimensional Galvanic Distortion*, *J. Geophys. Res.*, **94**, pp. 1913-1925.
- Haak, V. and V.R.S. Hutton (1986):** *Electrical resistivity in continental lower crust*, in: Dawson, J.B., D.A. Carswell, J. Hall, and K.H. Wedepol, eds., *The Nature of the Lower Continental Crust*, *Geol. Soc. London, Spec. Pub.*, **24**, pp. 35-49.
- Jödicke, H. (1990):** *Zonen hoher elektrischer Krustenleitfähigkeit im Rhenoharzynikum und seinem nördlichen Vorland*, *Hochschulschriften Bd. 24*, Literaturverlag, Münster, Hamburg.
- Jones, A.G. (1992):** *Electrical Properties of the Lower Continental Crust*, in: Fountain, D.M., R. Arculus, and R.W. Kay, eds., *Continental Lower Crust*, *Developments in Geotectonics*, **23**, Elsevier, Amsterdam, pp. 81-143.

- Jones, A.G. (1993): *Electromagnetic images of modern and ancient subduction zones*, *Tectonophysics*, **219**, pp. 29-45.
- Jording, A., L. Ferrari, J. Arzate, and H. Jödicke (2000): *Crustal variations and terrane boundaries in southern Mexico as imaged by magnetotelluric transfer functions*, *Tectonophysics*, im Druck.
- Kostoglodov, V., W. Bandy, J. Dominguez, and M. Mena (1996): *Gravity and seismicity over the Guerrero seismic gap, Mexico*, *Geophys. Res. Lett.*, **23**, pp. 3385-3388.
- Kurtz, R.D., J.M. DeLaurier, and J.C. Gupta (1986): *A magnetotelluric sounding across Vancouver Island detects the subducting Juan de Fuca plate*, *Nature*, **321**, pp. 596-599.
- Kurtz, R.D., J.M. DeLaurier, and J.C. Gupta (1990): *The electrical conductivity distribution beneath Vancouver Island: a region of active plate subduction*, *J. Geophys. Res.*, **95**, pp. 10929-10949.
- Mackie, R., S. Rieven, and W. Rodi (1997): *Users Manual and Software Documentation for Two-Dimensional Inversion of Magnetotelluric data*, M.I.T., Earth Resources Laboratory, Cambridge, Massachusetts, 14 pp.
- Molina-Graza, R. and J. Urrutia-Fucugauchi (1993): *Deep crustal structure of central Mexico derived from interpretation of Bouguer gravity anomaly data*, *J. Geodynamics*, **17**, pp. 181-201.
- Nava, F., F. Nunez-Cornu, D. Cordoba, M. Mena, J. Ansorge, J. Gonzalez, M Rodriguez, E. Banda, S. Mueller, A. Udias, M. Garcia-Garcia, G. Calderon (reporters) and the Mexican Working Group for Deep Seismic Profiling (1988): *Structure of the Middle America trench in Oaxaca, Mexico*, *Tectonophysics*, **154**, pp. 241-251.
- Ortega-Gutierrez, F., R.L. Sedlock, and R.C. Speed (1994): *Phanerozoic tectonic evolution of Mexico*, in: Speed, R.C., ed., *Phanerozoic Evolution of North American Continent-Ocean Transitions*, Geol. Soc. Am., DNAG Continent-Ocean Transect Volume, pp. 265-306.
- Pardo, M. and G. Suarez (1995): *Shape of the subducted Rivera and Cocos plates in southern Mexico: Seismic and tectonic implications*, *J. Geophys. Res.*, **100**, pp. 12357-12373.
- Peacock, S.M. (1990): *Fluid processes in subduction zones*, *Science*, **248**, pp. 329-337.
- 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*, Dissertation, Math.-Nat. Fak., Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 114 pp.
- Schilling, F.R., G.M. Partzsch, H. Brasse, and G. Schwarz (1997): *Partial melting below the magmatic arc in the central Andes deduced from geoelectromagnetic field experiments and laboratory data*, *Phys. Earth Planet. Int.*, **103**, pp. 17-31.
- Schmidt, M.W. and S. Poli (1998): *Experimentally based water budgets for dehydrating slabs and consequences for arc magma generation*, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **163**, pp. 361-379.
- Spear, F.S. (1993): *Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths*, Min. Soc. Am., Washington, D.C. 20036, USA, 799 pp.
- Spranger, M. (1994): *GEOLIMEX: Eine erste Geotraverse durch Südmexiko. Auswertung des refraktionsseismischen Profils.*, Dissertation, Math.-Nat. Fak., Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 150 pp.
- Stibane, F.R., J.R. Barboza G. und R. Schmidt-Effing (1994): *Geologische Untersuchungen im Bereich der Geotraverse Südmexiko (GEOLIMEX)*, Gießener Geolog. Schriften, **51**, pp. 267-276.
- Swift, C.M. (1967): *A magnetotelluric investigation of an electrical conductivity anomaly in the southwestern United States*, Ph.D. Thesis, Geophys. Lab. M.I.T., Cambridge (Mass.).
- Urrutia-Fucugauchi, J. (1984): *On the tectonic evolution of Mexico: paleomagnetic constraints*, in: van der Voo, R., ed., *Plate reconstruction from Paleozoic Paleomagnetism*, Am. Geophys. Union, Geodyn. Ser., **12**, pp. 29-47.
- Valdes, C., W.D. Mooney, S.K. Singh, R.P. Meyer, C. Lomnitz, J.H. Luetgert, C.E. Helsley, B.T.R. Lewis, and M. Mena (1986): *Crustal structure of Oaxaca, Mexico, from seismic refraction measurements*, *Seismol. Soc. Am. Bull.*, **76**, pp. 547-563.
- van den Beukel, J. and R. Wortel (1988): *Thermo-mechanical modelling of arc-trench regions*, *Tectonophysics*, **154**, pp. 177-193.