

Ayman Mohsen

A RECEIVER FUNCTION STUDY OF THE CRUST AND
UPPER MANTLE ACROSS THE DEAD SEA TRANSFORM

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
im Fachbereich Geowissenschaften
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Ayman Mohsen
February 2004

Erstgutachter: Prof. Dr. Rainer Kind
Zweitgutachter: Prof. Dr. Serge Shapiro

Tag der Disputation: 13. February 2004

TABLE OF CONTENTS

Abstract	5
Zusammenfassung (German Summary)	7
Dedication	9
Chapter 1 Introduction	10
1.1 Objectives	13
1.2 DESERT Project	13
1.3 Outline of this Thesis	
Chapter 2 Geology, Tectonic Setting and Seismicity	
2.1 Geological Setting	16
2.2 Tectonic Setting	20
2.2.1 Introduction	20
2.2.2 Deformations	22
2.2.3 Displacement and Motion	23
2.2.4 Dead Sea Deformation	24
2.2.5 General Features of the DST	24
2.3 Seismicity	25
2.3.1 Instrumentally Recorded Seismicity	25
2.3.2 Seismicity of the Gulf of Aqaba-Wadi Araba Region	28
2.3.3 Historical Seismicity	30
Chapter 3 Receiver Function Method	
3.1 Introduction	33
3.2 Receiver Function Processing	35
3.2.1 Restitution	35
3.2.2 Rotation	37
3.2.3 Deconvolution	38
3.2.4 Moveout Corrections	40
3.2.5 Inversion	43

3.2.6 Crustal Thickness and Vp/Vs Estimation	44
Chapter 4 Data	
4.1 Introduction	48
4.2 Seismic Stations	48
4.3 Data Selection	49
4.4 Characteristics of the Dataset	52
Chapter 5 Results and Discussions	
5.1 Introduction	54
5.2 Data Examples of some Individual Stations	54
5.3 Seismic Image from Receiver Function Analysis	56
5.4 Moho Depth and Vp/Vs Determinations	59
5.5 A Lower Crustal Discontinuity (LCD) East of the DST	78
5.6 Comparison of Results	84
5.7 Upper Mantle Discontinuities	87
Chapter 6 Concluding Remarks	
6.1 Introduction	92
6.2 Crust-Mantle Boundary	92
6.3 Lower Crustal Discontinuity	93
6.4 The 410 and 660 Discontinuities	93
Acknowledgments	95
References	96
Appendix A	109
Appendix B	113
Appendix C	116
Lebenslauf	119

ABSTRACT

The Dead Sea Transform (DST) fault, formed about 20 M.Y. ago is a major structural feature, which demarcates the two tectonic plate boundaries, Arabian and African plates and it remains a stable platform almost since the formation of these plates in the late Proterozoic. The tectonic stability of this region was only recently (20 M.Y. ago) interrupted by the formation of the DST with a left lateral motion of about 107 km. The general strikes of this fault is from N15°E to N20°E and extends from Red Sea northwards along Wadi Araba, Dead Sea, Jordan Valley, lake Tiberias and central Lebanon over 1100 km to the continental collision zone in the Taurus-Zagross mountain belt.

To know the nature of the crust in this area and also the nature of this mega geo-feature a number of geophysical studies have been done under the multinational geophysical project (DEad SEa Rift Transect) started in Feb. 2000, to study the crustal and the upper mantle of the DST. Under this project the passive source seismic studies were also been carried out to decipher the crustal structure as well as the mapping of the deep mantle transition zones. A temporary network consisting of broadband and shortperiod seismic stations was set up in the area for one year beginning in April 2000 as part of the multidisciplinary DESERT project. The aperture of the network is approximately 250 km in NW-SE direction from the Mediterranean Sea crossing Wadi Araba fault into the highland area in Jordan and 150 km in SW-NE direction between the Dead Sea and the Red Sea along Wadi Araba fault.

In the present work, the receiver function method has been applied to three component passive source data to investigate seismic discontinuities in the crust down to the upper mantle. The seismic structure of this region has been presented in a unified way and the results have been discussed in the light of the other geophysical studies carried out in this region.

Receiver function analysis utilises teleseismic body waves to retrieve the crustal and lithospheric structures beneath recording stations. The waveforms arriving at the recording stations have the effects of earthquake source, the earth's structure in the vicinity of both the source and station and mantle propagation effects. Source equalization is a technique to explore crustal and upper mantle structure at the receiver sites removing the source and mantle path effects.

On application of receiver function methodology on the three component data of this region it has been found that the Moho depth increases smoothly from about 30 km west of the DST to about 35 km underneath the DST and continues to deepen to about 40 km in the eastern most stations along the controlled source line. East of the DST the natural source data indicate a shallower Moho to the north and south than directly along the controlled source line. This indicates that the crust is not simply thickening from west to east but has a much more 3 D complicated structure. The study shows that the crustal structure in the west and east of the Araba fault is different indicating that the Araba fault is of deep seated nature and divides the whole region into two parts at least down to the Moho.

The P-to-S converted phases from 410 and 660 km discontinuities are delayed by 2 s with respect to IASP91 global reference model, indicating that the upper mantle above 410 km is 3-4% slower than the standard earth model. This could mean that the upper mantle in the region is still influenced by several geodynamical processes involving rifting, uplift and magmatism.

ZUSAMMENFASSUNG

Die vor etwa 20 Mio. Jahren entstandene Dead Sea Transform (DST) ist eine bedeutende Störung, welche die Arabische von der African-Platte abgrenzt und seit der Entstehung beider Platten im späten Proterozoikum eine stabile Struktur darstellt. Die tektonische Stabilität der Region wurde lediglich vor 20 Mio. Jahren während der Bildung der DST durch eine linkslaterale Verwerfung um 107 km unterbrochen. Die Hauptrichtung der Störung liegt zwischen 15° und 20° und erstreckt sich vom Roten Meer nordwärts entlang des Wadi Araba, dem Toten Meer, dem Jordantal, dem See Tiberias und dem zentralen Libanon über 1100 km bis zur kontinentalen Kollisionszone des Taurus-Zagross-Orogengürtels.

Um Erkenntnisse über die Zusammensetzung und den Aufbau der Kruste in dieser Region wie auch die Natur dieser ausgedehnten geotektonischen Struktur zu gewinnen, sind verschiedene geophysikalische Untersuchungen der Kruste und des oberen Mantels im Bereich der DST im Rahmen eines multinationalen Projektes (Dead Sea Rift Transect) durchgeführt worden, welches im Februar 2000 angelaufen ist. Teil des multidisziplinären DESERT-Projektes waren unter anderem passive seismologische Studien zur Untersuchung der Struktur und Zusammensetzung der Kruste sowie der Kartierung der Mantelübergangszone. Beginnend im April 2000 wurde im Messgebiet ein temporäres Netzwerk bestehend aus breitbandigen und kurzperiodischen seismischen Stationen aufgebaut. Das Messnetz reicht etwa 250 km in NW-SO-Richtung vom Mittelmeer die Wadi Araba Störung kreuzend bis ins jordanische Hochland sowie ca. 150 km in SW-NO-Richtung zwischen dem Roten und dem Toten Meer entlang der Wadi Araba Störung.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Receiver Function Methode auf die Dreikomponenten-Daten des passiven Experimentes angewandt, um seismische Diskontinuitäten innerhalb der Kruste bis in den oberen Mantel zu untersuchen. Die seismische Struktur der Region wurde in vereinheitlichter Form dargestellt und die Ergebnisse im Kontext anderer geophysikalischer Studien diskutiert, die ebenfalls im Messgebiet durchgeführt wurden.

In der Receiver Function Methode werden teleseismische Raumwellen benutzt, um Strukturen der Kruste und der Lithosphäre unterhalb der aufzeichnenden Stationen aufzufinden. Die Wellenform der aufgezeichneten Daten enthält Herdeffekte, strukturelle Informationen sowohl des Quell- als auch des Messgebietes sowie Laufweegeffekte des Mantels. Source Equalization ist eine Technik zur Erforschung der Strukturen der Kruste und des oberen Mantels unter den Messpunkten durch Eliminierung der Herd- und Laufweegeffekte.

Die Auswertung der Dreikomponenten-Daten im Messgebiet mit der Receiver Function Methode ergab eine leichte Zunahme der Mohotiefe von etwa 30 km westlich der DST auf ca. 35 km unterhalb der DST. Die östlichsten Stationen des aktiven Experimentes zeigen eine weitere Vertiefung der Moho auf etwa 40 km. Östlich der DST konnte aus den Erdbebendaten im Norden eine flachere Moho abgeleitet werden als im Süden in unmittelbarer Nähe des aktiven Profils. Die Mächtigkeit der Kruste nimmt demnach nicht einfach nach Osten zu, sondern weist eine etwas komplexere dreidimensionale Struktur auf. Die Untersuchung ergab unterschiedliche Krustenstrukturen zu beiden Seiten der Araba Störung, die somit eine tiefreichende Basis aufweist und die Region wenigstens bis zur Moho in zwei Teile unterteilt.

Die P-zu-S konvertierten Phasen von den Manteldiskontinuitäten treten verglichen mit dem IASP91 Referenz-Erdmodell mit einer Verzögerung von 2 Sekunden auf. Dies deutet auf eine um etwa 3-4% reduzierte Laufzeit relativ zum Standarderdmodell im Bereich oberhalb der 410-km-Diskontinuität hin. Möglicherweise ist der obere Mantel in der Region noch immer beeinflusst durch verschiedene geodynamische prozesse, wie etwa Rifting, Uplift und Magmatismus.

DEDICATION

To my father and mother for their invaluable advices and support that
gave me the thrust and courage to finish this work

To my wife for her patience understanding and support

To the light of my life, to my daughters(Dania and Meera) whom i love

&

To the memory of all innocent children all over the world who have lost
their happiness and lives because of unfairness