

Forough Sodoudi

**Lithospheric structure of the  
Aegean obtained from P and S  
receiver functions**

---

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

2005

**Tag der mündlichen Prüfung: 21. June 2005**

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

# ABSTRACT

Aegean is one of the most tectonically complex areas worldwide. Because of its position in the back arc area of the active subduction of the African plate beneath the Eurasian plate as well as occurrence of two successive stages of extension within Aegean since Oligocene times, it belongs to the most interesting areas and has been the focus of many studies. In this thesis a joint P and S receiver function analysis is used to estimate the crustal and upper mantle structure in the whole Aegean Sea, mainland Greece and the island of Crete. To reach this goal, combined P and S receiver functions of teleseismic events are computed, which are recorded by a total number of 65 temporary and permanent stations including GEOFON, National Observatory of Athens, Cyclades-network, Mediterranean network and the Seisfaultgreece experiment. These combined data show a more dense coverage in the southern and central Aegean Sea where no information from P receiver functions can be obtained without OBS stations. The receiver function images reliably demonstrate the subducting oceanic African lithosphere up to northern Greece, where the slab is not marked by earthquakes. The results lead also to an average depth of 40 km for the subducted oceanic Moho beneath southern Crete, western Peloponnesus and southeast of Rhodes, which significantly increases down to the volcanic arc to a depth of 160 km. The oceanic Moho can be reliably followed further north to depth of 220 km beneath northern Greece. The new information on the oceanic and continental lithosphere deduced from the new technique of S receiver function clearly reveals the lithosphere-asthenosphere boundary beneath each part of the area. This boundary is estimated about 150 km beneath mainland Greece, which presents the continental Aegean lithosphere (Eurasian lithosphere) and shows a thickening from 100 km beneath southern Crete to about 225 km under volcanic arc of the subduction zone.

This thickening of the LAB towards the Aegean Sea is associated with the subduction of the oceanic African lithosphere beneath the Aegean plate. Moreover, detailed informations about the crustal thickness variation are inferred from this study. In Crete, the Aegean Moho varies from 25 km in the east to 33 km in the west. In the Cretan Sea a thin crust of approximately 20 km is observed, which thickens up to 30 km at the volcanic arc. A thicker crust of about 35 km beneath two volcanic islands in the Aegean (SANT, MILO) are also observed. In the northern Aegean Sea the crustal thickness is ranging between 25-28 km, whereas beneath western Greece a significantly crustal thickening resulted in a Moho depth of 32-38 km. The estimations in the Peloponnesus show a crustal thickness of 25-28 km.

# Zusammenfassung

Das Ägäische Meer ist eines der tektonisch kompliziertesten Gebiete weltweit. Wegen seiner Lage im *backarc* Bereich der aktiven Subduktionszone von afrikanischer Platte unter die eurasische Platte sowie das Auftreten zweier aufeinanderfolgender Extensionsstadien im Ägäischen Meer seit dem Oligozän, gehört es zu einem der interessantesten Gebiete und war bereits Grundlage zahlreicher Studien. In der vorliegenden Arbeit wurde eine gemeinsame P und S *Receiver Function* Analyse durchgeführt, um die Struktur der Kruste und des oberen Mantels unterhalb des gesamten Ägäischen Meeres, des griechischen Festlandes und Kreta zu bestimmen. Zu diesem Zweck wurden P und S *Receiver Functions* von teleseismischen Ereignissen berechnet, die an 65 temporären bzw. permanenten Stationen unterschiedlicher Netzwerke (GEOFON, Nationalobservatorium von Athen, Cyclades network, Mediterranean network und Seisfaultgreece Experiment) aufgezeichnet worden sind. Die gemeinsamen Daten weisen eine dichte Überdeckung im südlichen und zentralen Ägäischen Meer auf, während von den P *Receiver Functions* allein hier keine Informationen ohne OBS-Stationen gewonnen werden können. Die subduzierte afrikanische Lithosphäre kann anhand der *Receiver Function* Darstellungen bis unter das nördliche Griechenland verfolgt werden. Hier wird die abtauchende Platte jedoch nicht mehr durch lokale Seismizität abgebildet. Die Ergebnisse führen zu einer durchschnittlichen Moho-Tiefe von 40 km für die subduzierte ozeanische Platte unterhalb Südkretas, Westpeloponnes und des Südostens von Rhodos, die bis auf 160 km unterhalb des vulkanischen Bogens zunimmt. Die ozeanische Moho kann bis in eine Tiefe von 220 km unterhalb des nördlichen Griechenlandes zuverlässig beobachtet werden. Die mittels der S *Receiver Function* Methode gewonnenen neuen Informationen über die ozeanische und kontinentale Lithosphäre zeigen die

Lithosphären-Asthenosphären Grenze für das gesamte Untersuchungsgebiet. Diese Grenze wird in ca. 150 km Tiefe unterhalb des griechischen Festlandes abgeschätzt, welches die kontinentale Ägäische Lithosphäre (eurasische Lithosphäre) darstellt und weist eine Zunahme um 100 km unterhalb Südkretas bis auf 225 km unterhalb des vulkanischen Bogens der Subduktionszone auf. Die Zunahme der Mächtigkeit der LAB in Richtung Ägäisches Meer wird mit der Subduktion der ozeanischen afrikanischen Lithosphäre unter die Ägäische Platte in Verbindung gebracht. Desweiteren können detaillierte Informationen zur Variation der Krustenmächtigkeit im Untersuchungsgebiet aus dieser Studie abgeleitet werden. Unterhalb Kretas ändert sich die Tiefenlage der Ägäischen Moho von 25 km im Osten auf 33 km im Westen. Im kretischen Meer wird eine geringe Krustenmächtigkeit von ca. 20 km beobachtet, die zum vulkanischen Bogen hin auf 30 km zunimmt. Eine mächtigere Kruste von ca. 35 km wird unterhalb der vulkanischen Inseln im Ägäischen Meer (SANT, MILO) beobachtet. Im nördlichen Ägäischen Meer variiert die Krustenmächtigkeit zwischen 25-28 km, während die Kruste unterhalb Westgriechenlandes durch Krustenverdickung auf 32-38 km zugenommen hat. Die Abschätzungen für Peloponnes zeigen eine Krustenmächtigkeit von 25-28 km.

## TABLE OF CONTENTS

<b>Abstract</b> .....	<b>1</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>3</b>
<b>Chapter 1 Introduction</b> .....	<b>9</b>
<b>Chapter 2 Geology and tectonics of the Aegean</b> .....	<b>13</b>
2.1 Tectonic setting.....	15
2.1.1 The northern Aegean region.....	18
2.1.2 The western Aegean region.....	20
2.1.3 The southern Aegean subduction.....	22
2.1.4 The Cretan basin.....	24
2.2 Geological setting.....	25
2.3 Seismicity.....	28
2.4 Previous geophysical studies.....	30
2.4.1 The continental Moho of the Aegean plate.....	30
2.4.2 The oceanic Moho of the African plate.....	35
<b>Chapter 3 Methods</b> .....	<b>39</b>
3.1 P-to-S receiver function method.....	39
3.1.1 Restitution.....	41
3.1.2 Rotation.....	42

## Table of contents

3.1.3	Deconvolution.....	43
3.1.4	Moveout correction.....	46
3.1.5	Migration.....	49
3.1.6	Estimation of crustal thickness and $V_p/V_s$ ratio...	50
3.2	S-to-P receiver function method.....	53
3.2.1	Lithosphere-asthenosphere boundary.....	56
3.2.2	Processing.....	56
3.2.3	Rotation.....	57
3.2.4	Deconvolution.....	61
3.2.5	Moveout correction and stacking.....	63
<b>Chapter 4</b>	<b>Data.....</b>	<b>67</b>
4.1	Data set for P receiver function analysis.....	67
4.1.1	Seismic stations.....	67
4.1.2	Prerequisites for P receiver function method.....	69
4.2	Data set for S receiver function analysis.....	69
4.2.1	Seismic stations.....	69
4.2.2	Prerequisites for S receiver function method.....	71
<b>Chapter 5</b>	<b>Results and Discussions.....</b>	<b>73</b>
5.1	Results from P receiver functions.....	73
5.1.1	Observed P receiver functions.....	73
5.1.2	Reversed Moho contrast in the forearc.....	78
5.1.3	Calculating Moho depth from $P_s$ conversions.....	80
5.1.4	Calculated slab depth from $P_s$ conversions.....	82
5.1.5	Receiver function migration.....	82
5.2	Results from S receiver functions.....	85



5.2.1	Observed S receiver functions.....	85
5.2.2	Distribution of Piercing points.....	87
5.2.3	Descending oceanic African Moho.....	87
5.2.4	Slab geometry obtained from profiles A-C.....	89
5.2.5	Slab geometry obtained from profiles D-F.....	92
5.2.6	Lithosphere-Asthenosphere boundary.....	93
5.3	Discussions.....	96
5.3.1	Thickness of the Lithosphere.....	96
5.3.2	Description of the Hellenic subduction zone .....	98
5.3.3	Reversed continental Moho contrast complication..	101
5.3.4	Crustal thickness of the Aegean plate.....	104
5.3.4.1	The observed Moho phase beneath PENT and ATH.....	107
5.3.4.2	Presence of thick Moho under SANT and MILO.....	107
5.3.4.3	Moho depth map.....	110
<b>Chapter 6</b>	<b>Concluding remarks.....</b>	<b>115</b>
6.1	Crust-mantle boundary of the Aegean plate.....	115
6.2	Crust-mantle boundary of the African plate.....	116
6.3	LAB beneath the whole area.....	117
	<b>References.....</b>	<b>119</b>
	<b>Appendix A: Stations List and Instrumentation .....</b>	<b>141</b>
	<b>Appendix B: List of events.....</b>	<b>145</b>
	<b>Appendix C: List of delay times and depth values.....</b>	<b>159</b>
	<b>Danksagung.....</b>	<b>165</b>

*Table of contents*

<b>Lebenslauf</b> .....	<b>167</b>
-------------------------	------------