

**LITHOSPHERIC STRUCTURE ALONG A TRANSECT FROM
THE NORTHERN APENNINES TO TUNISIA DERIVED
FROM SEISMIC REFRACTION DATA**

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZÜRICH

for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by

ADRIAN PHILIPP EGGER
Dipl. Natw. ETH
born September 8, 1958
citizen of Zürich and Gossau SG

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Stephan Mueller, examiner
Dr. Jörg Ansorge, co-examiner
Prof. Dr. Enric Banda, co-examiner

Abstract

The region of the Mediterranean Sea has gone through a complicated history of evolution and it has been tectonically active until the present. Continental collision zones with the evolution of orogenies, isolated continental fragments, young marine basins partly overlying oceanic crust, and subduction zones are found close together. The general stress distribution of the whole region is controlled by the relative motion between Africa and Eurasia. However, movements of small blocks can be locally more significant.

The whole region of the Mediterranean Sea has been the subject of many geological and geophysical studies. Nevertheless, there are still many open questions to answer which are important for a better understanding of its tectonic evolution. A series of seismic wide-angle reflection and refraction experiments was carried out between the Northern Apennines in northern Italy and Tunisia as part of the Southern Segment of the international European Geotraverse project (EGT). Several of these experiments were designed for a high resolution survey of the crustal structure in the marine areas. The method of two-dimensional ray-tracing was used for the interpretation of these mostly N-S oriented profiles and several other profiles in Sardinia and the Tyrrhenian Sea. Limited information was obtained also about the lower lithosphere beneath Corsica and Sardinia from data at recording distances of up to 580 km.

The crustal structure of the Corsica-Sardinian block in the center of the segment is laterally rather homogeneous and has at a depth of 16 to 19 km a clear boundary to the lower crust except for southern Sardinia. In general the seismic velocities increase at this boundary from 6.1 to 6.3 km/s to 6.6 to 6.8 km/s. The crust-mantle boundary is bowl-shaped with its greatest depth of about 32 km beneath southern Corsica and northern Sardinia. The crustal thickness decreases towards the surrounding marine basins to 18 km in the Ligurian Sea north of Corsica, to 21 km in the Sardinia Channel south of Sardinia, and to 15 km in the Tyrrhenian Sea east of northern Sardinia. The contact zones between the crust of the Corsica-Sardinian block and the crust of Liguria and of Tuscany north and east of Corsica are very complex but of different types. The Ligurian Sea represents a stretched continental crust with less indication of an oceanization in the area of the EGT than in the Sardinia Channel. The structure has been strongly influenced by the asymmetrical opening of the Provençal Basin, the progressive rifting northeasterly directed, and the counter-clockwise rotation of the Corsica-Sardinian block. The adjacent Ligurian crust in the north has a thickness of only 20 to 25 km with sedimentary layers reaching to a depth of about 10 km. Previous interpretations show an overlapping of the crustal units caused by the collision of Corsica and Tuscany. This could not be confirmed. However, the detailed structure of the transition in the northern Tyrrhenian Sea from the 32 km thick Corsican crust in the west to the 21 km thick crust under Tuscany in the east could not be determined well enough from the available data. The transition to the central Tyrrhenian Sea east of Sardinia is similar to the passive continental margin of the Atlantic type. Clear differences in the average seismic velocity and crustal structures are recognized north and south of a basement high in the central Sardinia Channel between Sardinia and Tunisia. A velocity of more than 6.0 km/s is already reached beneath 1 to 3 km thick sediments in the northern part but only at a depth of 8 km in the southern part. The velocity does not increase significantly down to the Moho beneath the southern Sardinia Channel. An oceanization of the thinned continental crust

occurred in the central Sardinia Channel. Lower crustal velocities between 7.2 and 7.6 km/s are already reached at about 12 km depth.

The seismic velocity of the uppermost mantle is about 8.0 km/s for all examined profiles south and east of Corsica. This velocity is reduced to 7.7 km/s beneath Corsica and it reaches its minimum value of 7.6 km/s beneath the southern Ligurian Sea. A velocity of more than 8.0 km/s is detected immediately north of the area associated with the minimum velocity value.

A low-velocity layer is found in the mantle lithosphere under Sardinia in a depth range between about 40 and 50 km. Underneath, a layer with an increased velocity of 8.3 to 8.45 km/s is derived which extends to a depth of about 67 km under Corsica and Sardinia. Another velocity inversion follows below with a positive velocity gradient to a clear horizon with a strong velocity contrast at a depth of about 100 km. The high seismic velocity of about 8.7 km/s above this boundary and the fact that no strong velocity reduction was found at shallower depth, implies that the lithosphere probably reaches this depth with the expected velocity inversion underneath. However, additional seismic measurements are necessary to obtain more reliable and detailed information about the structure of the lower lithosphere and the transition to the asthenosphere since the present information is mainly based on the data of one shot only.

The results of this study support the present hypothesis that the opening of the Provençal Basin, the rotation of Corsica and Sardinia, as well as the opening of the Tyrrhenian Sea belong to a system of back-arc spreading with a subduction process as counterpart which is today still active beneath the Calabrian Arc in southern Italy.

Zusammenfassung

Das Gebiet des Mittelmeeres durchlief eine komplizierte Entwicklungsgeschichte und ist tektonisch aktiv bis in die heutige Zeit. Kontinentale Kollisionszonen mit Gebirgsbildungen, isolierte kontinentale Fragmente, junge Ozeanbecken mit zum Teil ozeanischer Kruste und Subduktionszonen liegen nahe beisammen. Die Spannungsverteilung im ganzen Gebiet wird von der relativen Bewegung zwischen Afrika und Eurasien bestimmt. Bewegungen kleinerer Blöcke spielen zum Teil lokal aber eine bedeutendere Rolle.

Das ganze Gebiet des Mittelmeeres wurde bis jetzt von einer Vielzahl geologischer und geophysikalischer Untersuchungen durchleuchtet. Trotzdem sind immer noch wichtige Fragen offen, deren Beantwortung zum besseren Verständnis der tektonischen Evolution beitragen können. Im Rahmen des Südsegmentes des internationalen Projektes der Europäischen Geotraverse (EGT) wurde im Gebiet zwischen den Nordapenninen in Norditalien und Tunesien eine grössere Anzahl von Weitwinkelreflexions-Refraktionsprofilen aufgenommen mit zum Teil hochauflösender Beobachtungsdichte in den marinen Bereichen. Die Auswertung mit der Methode des zweidimensionalen "ray-tracings" dieser meist N-S verlaufenden Profile, sowie verschiedener Profile in Sardinien und dem Tyrrhenischen Meer führte zu teilweise sehr detaillierten Krustenstrukturen. Dank Aufnahmeentfernungen bis 580 km wurden auch Informationen über die untere Lithosphäre unter Korsika und Sardinien erhalten.

Die Krustenstruktur des Korso-Sardinischen Blocks ist relativ homogen und besitzt mit Ausnahme des südlichen Sardiniens eine klare Abgrenzung zur Unterkruste in 16-19 km Tiefe, mit Erhöhungen der seismischen Geschwindigkeiten im allgemeinen von 6.1-6.3 km/s auf 6.6-6.8 km/s. Die Form der Krusten-Mantelgrenze ist schüsselförmig mit der grössten Tiefe von etwa 32 km zwischen Südkorsika und Nordsardinien. Gegen die umliegenden Meeresbecken hin nimmt die Mächtigkeit der kontinentalen Kruste ab auf 18 km im Ligurischen Meer nördlich von Korsika, auf 21 km im Sardinischen Kanal südlich von Sardinien und auf 15 km im Tyrrhenischen Meer östlich von Nordsardinien. Die Kontaktzonen zwischen der Kruste des Korso-Sardinischen Blocks und der Ligurischen und Toskanischen Kruste im Norden und Osten von Korsika weisen komplizierte Strukturen auf, unterscheiden sich jedoch grundsätzlich voneinander. Das Ligurische Meer stellt eine Dehnungsstruktur dar, jedoch mit weniger Anzeichen einer Ozeanisierung im Bereich der EGT als im Sardinischen Kanal. Die Struktur wurde durch die asymmetrische Öffnung des Provençalischen Beckens, das progressive Fortschreiten des Riftings nach NE und die Drehung im Gegenuhrzeigersinn des Korso-Sardinischen Blocks stark beeinflusst. Die nördlich anschliessende Ligurische Kruste hat eine Mächtigkeit von nur 20-25 km, wobei die Sedimente bis in ca. 10 km Tiefe reichen. Dass die Kollision von Korsika und der Toskana zu einer Überlappung der beiden Krusten führte, wie frühere Auswertungen fordern, konnte nicht bestätigt werden. Allerdings kann die genaue Struktur des Übergangs im nördlichen Tyrrhenischen Meer von der 32 km mächtigen korsischen Kruste im Westen zur 21 km mächtigen Kruste unter der Toskana im Osten aus den verfügbaren Daten nicht genauer bestimmt werden. Der Übergang zum zentralen Tyrrhenischen Meer östlich von Sardinien ist vergleichbar mit einem passiven Kontinentalrand des Atlantik-Typs. Nördlich und südlich einer Aufwölbung des kristallinen Untergrundes im zentralen Sardinischen Kanal zwischen Sardinien und Tunesien treten klare Unterschiede in den seismischen Durchschnittsgeschwindigkeiten und Strukturen auf. Eine Geschwindigkeit von über 6.0 km/s

wird im Nordteil schon unter 1-3 km mächtigen Sedimenten erreicht, im Süden jedoch erst in 8 km Tiefe und die Geschwindigkeit erhöht sich unter dem südlichen Sardinischen Kanal nur unwesentlich bis zur Moho. Im zentralen Sardinischen Kanal ist eine Ozeanisierung der verdünnten kontinentalen Kruste erkennbar mit seismischen Geschwindigkeiten in der Unterkruste zwischen 7.2 und 7.6 km/s schon ab ca. 12 km Tiefe.

Die seismische Geschwindigkeit im obersten Mantel liegt für alle untersuchten Profile südlich und östlich von Korsika um 8.0 km/s. Unter Korsika ist die Geschwindigkeit auf 7.7 km/s reduziert und erreicht unter dem südlichen Ligurischen Meer mit 7.6 km/s ihr Minimum. Unmittelbar nördlich davon werden Geschwindigkeiten über 8.0 km/s erreicht.

In der unteren Lithosphäre unter Sardinien, im Tiefenbereich von etwa 40 bis 50 km, wurde eine Schicht mit reduzierter Geschwindigkeit gefunden. Darunter ist eine Schicht mit erhöhter Geschwindigkeit von 8.3 bis 8.45 km/s erkennbar, die bis in eine Tiefe von etwa 67 km unter Korsika und Sardinien reicht. Eine weitere Geschwindigkeitsinversion mit einem positiven Geschwindigkeitsgradienten folgt darunter bis zu einem deutlichen Horizont mit einem starken Geschwindigkeitskontrast in ca. 100 km Tiefe. Die hohe seismische Geschwindigkeit um 8.7 km/s oberhalb dieses Horizontes und die Tatsache, dass bei geringerer Tiefe keine starke Geschwindigkeitserniedrigung gefunden wurde, deuten darauf hin, dass die Lithosphäre möglicherweise bis in diese Tiefe reicht und die erwartete Geschwindigkeitserniedrigung darunter folgt. Da diese Informationen im wesentlichen auf den Beobachtungen nur eines Schusses basieren, müssten weitere seismische Messungen erfolgen, um genauere Angaben über die Struktur der unteren Lithosphäre und dem Übergang zur Asthenosphäre machen zu können.

Die Ergebnisse dieser Studie unterstützen die gegenwärtig vertretene Hypothese, dass die Öffnung des Provençalischen Beckens, die Drehung von Korsika und Sardinien, sowie die Öffnung des Tyrrhenischen Meeres auf ein System von "back-arc spreading" zurückzuführen ist mit der heute noch aktiven Subduktion unter dem Calabrischen Bogen in Süditalien.