

Diss. ETH No. 16593

# GPS deformation field and geodynamic implications for the Hellenic plate boundary region

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH  
for the degree of  
Doctor of Sciences

presented by  
CHRISTINE HOLLENSTEIN  
Dipl. Verm.-Ing. ETH  
born February 23, 1975  
citizen of Mosnang SG and Bichwil SG

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. H.-G. Kahle, examiner  
Prof. Dr. M. Cocard, co-examiner  
Prof. Dr. A. Geiger, co-examiner

Zürich 2006

---

## Abstract

The Hellenic plate boundary region, located in the collision zone between the African and Eurasian lithospheric plates, is presently the seismo-tectonically most active area of Europe. This is reflected in the occurrence of more than 4500 intermediate-size earthquakes during the last 30 years, with several large and destructive events among them. In order to understand the geodynamical processes in such a hazardous area, it is of great importance to know the kinematic field of this region. During the last 15 years, GPS measurements have been successfully used to determine the crustal motion in the area of Greece. An extended reoccupation network covering whole Greece and southern Italy has been measured periodically in numerous GPS campaigns since the late eighties, and a continuous GPS network has been operated in the region of the Ionian Sea since 1995.

The goal of this thesis is a well directed continuation of previous work, aiming at combining existing and new GPS measurements of both networks to one consistent high-quality solution for the area of Greece (and southern Italy), which is then presented in terms of velocities, time series, trajectories and strain rates and discussed/interpreted with particular regard to seismicity. Special emphasis was placed on the temporal variability of motions and deformations. A general objective of this study was the development and the application of appropriate procedures in order to produce best possible GPS results.

In order to obtain consistent results in a global reference frame, 54 mainly European IGS and EUREF sites were included in the measurements, and the whole processing was done in one single ITRF reference frame. The Bernese GPS software was used for the processing. The network finally was constrained to the reference frame by 3D Helmert transformation, which allowed to maintain the good inner precision of the network and eliminated large parts of systematic errors. In order to obtain results in a Eurasia-fixed reference frame, the rotation of the Eurasian plate was estimated on the basis of the obtained velocity results of Eurasian IGS stations and subtracted from the ITRF results.

An improvement procedure consisting of 4 steps was applied to the resulting coordinate time series, which reduced non-tectonic systematic effects and led to an improvement of precision of about 55 %. With regard to obtaining realistic accuracies for the velocity results, the temporal correlations within coordinate time series were studied by an autocovariance analysis.

The results of crustal motion and deformation in Greece and southern Italy are presented in terms of velocities, time series, trajectories and strain rates. Apart from confirming previous results, numerous new findings are shown, such as arc-parallel extension along the Hellenic Arc, compression between the Ionian islands and the Greek mainland or the existence of deforming zones to the north and to the south of the North Aegean Trough and in the West Hellenic Arc region.

Five major earthquakes were identified that are associated with co-seismic (or pre-seismic) effects in the GPS results. The largest co-seismic displacements (12 cm) were caused by the Strofades 1997 earthquake. The most detailed displacement field was obtained for the Lefkada 2003 earthquake, which caused co-seismic slips of several cm. Continuous sequences of cumulated strain were calculated in order to study the temporal change of accumulated strain in connection with the occurrence of large earthquakes.

---

The results obtained during this thesis represent a consistent high-quality data set of recent crustal motion and deformation of the Hellenic plate boundary region and, therefore, can also be considered as a good basis for further investigations.

---

## Zusammenfassung

Griechenland, welches in der Kollisionszone zwischen der Afrikanischen und der Eurasischen Lithosphärenplatte liegt, ist zur Zeit das seismo-tektonisch aktivste Gebiet Europas. Das widerspiegelt sich in mehr als 4500 mittelschweren Erdbeben, die sich während der letzten 30 Jahre in dieser Region ereignet haben, darunter mehrere grosse, zerstörerische Beben. Um die geodynamischen Prozesse in einem so gefährdeten Gebiet zu verstehen, ist es von grosser Wichtigkeit, das kinematische Feld dieser Region zu kennen. Während der letzten 15 Jahre sind GPS-Messungen erfolgreich eingesetzt worden, um die Erdkrustenbewegungen im Gebiet von Griechenland zu bestimmen. Ein ausgedehntes 'reoccupation' Netz, welches ganz Griechenland und das südliche Italien abdeckt, ist seit den späten achtziger Jahren in zahlreichen GPS-Kampagnen periodisch gemessen worden. Ein kontinuierliches GPS-Netz wird seit 1995 in der Region der Ionischen Inseln betrieben.

Diese Dissertation ist eine gezielte Weiterführung der früheren Untersuchungen, wobei die bereits vorhandenen sowie die neuen GPS-Messungen beider Netze zu einer hochqualitativen, konsistenten Gesamtlösung für das Gebiet von Griechenland (und das südliche Italien) kombiniert werden sollten. Die Lösung sollte dann anhand von Geschwindigkeiten, Zeitreihen, Trajektorien und Deformationsraten präsentiert und im Zusammenhang mit der seismischen Aktivität diskutiert und interpretiert werden. Einen Schwerpunkt bildet die zeitliche Variabilität der Bewegungen und Deformationen. Ein allgemeines Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung und die Anwendung geeigneter Prozeduren, um bestmögliche GPS-Resultate zu produzieren.

Um ein konsistentes Resultat in einem globalen Referenzrahmen zu erhalten, wurden 54 hauptsächlich europäische IGS- und EUREF-Stationen in die Auswertung integriert, und die gesamte Auswertung wurde in einem einzigen Referenzrahmen durchgeführt. Für die Auswertung wurde die Berner GPS Software verwendet. Das Netz wurde schliesslich mittels 3D Helmert-Transformation auf den Referenzrahmen gelagert. Das erlaubte, die gute innere Genauigkeit des Netzes zu behalten, und zudem konnte so ein Grossteil von systematischen Fehlern eliminiert werden. Um Resultate in einem Eurasien-fixierten Referenzrahmen zu erhalten, wurde die Rotation der eurasischen Platte (basierend auf den erhaltenen Geschwindigkeitsresultaten von Eurasischen IGS-Stationen) geschätzt und von den ITRF-Resultaten subtrahiert.

Eine 4-stufige Verbesserungs-Prozedur wurde auf die erhaltenen Koordinaten-Zeitreihen angewendet, wodurch nicht-tektonische systematische Effekte reduziert und die Genauigkeiten um ca. 55 % verbessert werden konnten. Im Hinblick darauf, realistische Genauigkeiten für die Geschwindigkeitslösungen angeben zu können, wurden die zeitlichen Korrelationen in Koordinaten-Zeitreihen mittels Autokovarianzanalyse untersucht.

Die für Griechenland und das südliche Italien erhaltenen Krustenbewegungen und -deformationen werden anhand von Geschwindigkeiten, Zeitreihen, Trajektorien und Deformationsraten präsentiert. Abgesehen davon, dass frühere Resultate bestätigt werden, werden auch zahlreiche neue Erkenntnisse aufgezeigt, wie z.B. Extension entlang des Hellenischen Bogens (parallel zum Bogen), Kompression zwischen den Ionischen Inseln und dem griechischen Festland oder die Existenz von Deformationszonen nördlich und südlich des North Aegean Trough und im Gebiet des Westhellenischen Bogens.

---

Fünf starke Erdbeben konnten mit co-seismischen (oder prä-seismischen) Effekten in GPS-Resultaten in Zusammenhang gebracht werden. Die grössten co-seismischen Verschiebungen (12 cm) wurden durch das Strofades 1997 Erbeben verursacht. Das detaillierteste Verschiebungsfeld wurde für das Lefkada 2003 Erdbeben erhalten, welches für co-seismische Verschiebungen von mehreren cm verantwortlich war. Zeitliche Verläufe von kumuliertem Strain wurden berechnet, um die zeitlichen Veränderungen der angesammelten Deformation im Zusammenhang mit dem Auftreten von starken Erdbeben zu untersuchen.

Die in dieser Dissertation präsentierten Resultate stellen einen konsistenten, hochqualitativen Datensatz der rezenten Krustenbewegungen und -deformationen in Griechenland dar und bilden daher auch eine gute Basis für weitere Untersuchungen.