

Diss. ETH No. 18966

**Improving earthquake source studies using InSAR:
data error estimation and propagation
to model parameter uncertainties**

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

DOCTOR OF SCIENCES

presented by

HENRIETTE SUDHAUS

Dipl. Geophys.,

University of Karlsruhe (Germany)

born January 13, 1977

citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Domenico Giardini, examiner

Prof. Dr. Sigurjón Jónsson, co-examiner

Prof. Dr. Paul Martin Mai, co-examiner

Prof. Dr. Pierre Briole, co-examiner

Zurich, 2010

Zusammenfassung

Unsere Möglichkeiten Erdbebenquellen direkt zu beobachten sind begrenzt. Um die Natur von Erdbeben besser zu verstehen, müssen wir die uns zu Verfügung stehenden indirekten Beobachtungen bestmöglich nutzen. In der vorgelegten Arbeit messe ich mit interferometric synthetic aperture RADAR (InSAR) die durch flache Erdbeben verursachten Oberflächendformationen, um Parameter von Erdbebenquellen zu bestimmen. In zwei Fallstudien zeige ich Strategien auf zur gewinnbringenden Kombination von mehreren InSAR und GPS Datensätzen durch eine sinnvolle Datengewichtung. Da der Fehler von InSAR Daten räumlich korreliert ist, basieren unsere Datengewichte auf der vollständigen Datenfehlerkovarianzmatrix. Ich schätze die individuelle Datenfehlerkovarianzfunktion mithilfe von Variogrammen und Covariogrammen empirisch in den Interferogrammen. Weiterhin berechne ich aus den Kovarianzfunktionen synthetische Datenfehler mit welchen in wiederholten Optimierungen Modelparameterunsicherheiten abgeschätzt werden.

In der ersten Fallstudie untersuchte ich das 2000er Kleifarvatn Erdbeben in Südwest-Island für welches bereits Erdbebenmodelle existierten. Ich zeige hier, dass durch den Gebrauch von Interferogrammen aus verschiedenen Blickwinkeln Erdbebenmodelle verbessert werden können. Das dynamisch getriggerte M5.9 Erdbeben trat auf einer bisher unbekanntem Störung auf und in einer Entfernung von nur 20 km zur isländischen Hauptstadt Reykjavík. Die früheren Erdbebenmodelle waren von Modelparameterkopplungen betroffen, welche durch den Einsatz von zusätzlichen Daten und der kovarianzbasierten Gewichtung effektiv unterdrückt werden konnten.

In der zweiten Fallstudie kombinierte ich InSAR-Daten unterschiedlicher Wellenlänge (C-Band und L-Band), um das 1997er Zirkuh Erdbeben im Iran zu untersuchen. Dieses M7.2 Erdbeben zeigt einen gekrümmten, segmentierten und 125 km langen Oberflächenbruch, an welchem in Feldmessungen grosse Variationen im lateralen und vertikalen Versatz festgestellt wurden. Bisher war nur wenig über den Tiefenverlauf des Bebens bekannt. Ich lege ein komplexes Erdbebenmodell

des Zirkuh Erdbebens vor und zeige eine Anwendung von *importance sampling* zur Analyse der Modelparameterwahrscheinlichkeiten und Modelparameterkorrelationen. Mit der Ausschöpfung der InSAR Datenarchive und einer sorgfältigen Einbindung der Daten in Erdbebenmodellierungen werden unsere Ergebnisse eine bessere Basis für weiterführende Erdbebenforschung bilden.

Abstract

Our prospects of direct earthquake source observations are limited. To better understand the nature of earthquakes we therefore need to make the best use of the indirect observations we have. In the presented work I measure the surface deformation due to moderate and large earthquakes with interferometric synthetic aperture RADAR (InSAR) to infer earthquake source parameters. In two case studies I show strategies for the beneficial combination of multiple data sets from InSAR and GPS through meaningful data weights. InSAR data exhibit correlated data errors and therefore the data weights are based on the full data error covariance matrix. I empirically estimate the individual data error covariance functions for the interferograms using sample variograms and covariograms. Further, I calculate from the error covariance functions synthetic data errors to assess earthquake fault model parameter uncertainties in repeated optimizations. In the first case study I re-investigated the 2000 Kleifarvatn earthquake in south-west Iceland and show how the earthquake source model can be improved through the use of interferograms from two different look directions. This dynamically triggered M5.9 earthquake occurred on a previously unknown fault only 20 km from the Icelandic capital Reykjavík. Earlier source models suffered from model parameter trade-offs that could be efficiently suppressed through additional data and covariance-based data weights. In the second study I combined interferograms of different wavelengths (C-band and L-band) to study the source of the 1997 Zirkuh earthquake in Iran. This M7.2 earthquake formed a curved, segmented and 125 km long surface fault trace at which field observations revealed large variations in both slip and rake. At depth, little a priori information about the rupture existed. I present a complex source model of the Zirkuh earthquake and I show the application of importance sampling to analyse the model parameter likelihoods and model parameter correlations. With the full use of the archived InSAR data and their careful implementation in earthquake source modeling, our results will form a better basis for continuing earthquake research.