

Seismic Potential of the Húsavík-Flatey Fault and Kinematics of the Tjörnes Fracture Zone, North Iceland, studied using InSAR and GPS

Doctoral Thesis

Author(s):

Metzger, Sabrina

Publication date:

2012

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-007580688>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Diss. ETH No. 20441

**Seismic Potential of the Húsavík-Flatey fault
and kinematics of the Tjörnes Fracture Zone, North Iceland,
studied using InSAR and GPS**

A dissertation submitted to

ETH ZÜRICH

for the degree of

DOCTOR OF SCIENCES

presented by

SABRINA METZGER

Dipl. Natw. Sc. ETH Zürich

born March 31, 1980

citizen of Kilchberg SG, Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Domenico Giardini

Dr. Sigurjón Jónsson

Dr. Freysteinn Sigmundsson

Dr. Cécile Lasserre

Zürich, 2012

ZUSAMMENFASSUNG

Island ist einer der wenigen Orte auf der Welt, an dem wir Erdkrustenbildung und das Auseinanderdriften der Kontinentalplatten ausserhalb der Meere beobachten können. Die Insel liegt auf dem Mittelatlantischen Rücken, bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 2 cm pro Jahr auseinander und liegt teilweise auf der Nordamerikanischen und auf der Eurasischen Kontinentalplatte. Auf der Insel ist die Plattengrenze, welche vom Reykjanes Rücken im Süden bis zum Kolbeinsey Rücken im Norden reicht, leicht nach Osten verschoben und wird Neovulkanische Zone genannt. Sie ist durch die Südisländische Seismische Zone im Süden und der Tjörnes Bruchzone (TBZ) im Norden an den Mittelatlantischen Rücken angeschlossen. Die beiden Transformzonen beherbergen die höchste Seismizitätsrate von ganz Island, in der Magnitude 7 Erdbeben möglich sind. Anders als die meisten ozeanischen Transformzonen besteht die TBZ nicht aus einer einzigen Verwerfung sondern aus einem 120 km mal 70 km grossen Gebiet, in welchem sich die Seismizität hauptsächlich entlang zweier Strukturen konzentriert, nämlich der Grímsey Linie (GL) und der Húsavík Flatey Verwerfung (HFV). Die GL liegt vor Island im Meer und besteht aus einer Reihe von gestaffelten, Nord-Süd-orientierten Gräben und Blattverschiebungen mit Vulkanismus. Die fast parallel orientierte HFV liegt etwas näher an der Küste und ist eine 100 km lange, rechtslaterale, leicht divergente Blattverschiebung. Auch sie ist grösstenteils ablandig, abgesehen von einem, 25 km-langem Teilstück, welches direkt unter dem Fischerdorf Húsavík durchführt. Die letzten grossen Erdbeben entlang dieser Verwerfung geschahen in 1755 (mit einer geschätzten Magnitude von 7.0) und in 1872, als gleich zwei Beben mit einer Magnitude 6.5 die Erde erschütterten. Es ist daher von höchsten Interesse, die seismische Bedrohung abzuschätzen, die von der Verwerfung ausgeht, sowie ein genaueres Wissen über die Kinematik der TBZ zu erhalten, was wiederum das generelle Verständnis des Zusammenspiels von Transform- und Riftzonen mittelozeanischer Rücken verbessert.

In der vorliegenden Doktorarbeit benütze ich geodätische Datensätze (GPS/Radar-

interferometrie) um die inter-seismische Krustenverformung zu messen und damit ein kinematisches Modell der Plattengrenze herzuleiten. Im Sommer 2006/7 haben wir zehn kontinuierliche GPS Stationen in der Region installiert und so das bereits existierende Netzwerk von vier Stationen fast vervierfacht. Ausserdem haben wir die Zeitreihe von 44 GPS-Punkten, welche 1997 zum ersten Mal vermessen wurden (Jouanne et al., 2006), mit mehreren Messkampagnen zwischen 2007 und 2011 verlängert. Mittels Zeitreihenanalyse extrahierte ich die Verformungsgeschwindigkeiten und definierte ein inter-seismisches Modell um die wichtigsten kinematischen Parameter der TBZ herzuleiten. Mittels Zeitreihenanalyse der Radarinterferometrie-Daten, welche die Zeitspanne von 1992 bis 2009 abdeckt, konnte ich die etappenweise Verformung der Region abschätzen. Die InSAR-Daten vervollständigen die GPS-Daten sowohl räumlich als auch zeitlich und liefern eine bessere Auflösung der vulkanischen Verformung von Theistareykir und Krafla, zweier Vulkane der benachbarten Neovulkanischen Zone. So konnte ich das kinematische Modell aufgrund des dank InSAR neu gewonnenen Wissens verbessern und die übrigen, nicht-modellierten Verformungen genauer studieren und Verformungen nicht-tektonischen Ursprungs ausfindig machen.

Unsere Resultate zeigen, dass die aktuelle, jährliche Plattenbewegung zu einem Drittel von der TBZ übernommen wird und zu zwei Dritteln von der GL. Die Gleitgeschwindigkeit der HFV beträgt 6.8 mm/yr und die Verwerfung ist bis zu einer Tiefe von 6.2 km verhakt. Die Verhakungstiefe könnte am ablandigen Ende der Verwerfung, welches von unseren Daten nur ungenügend abgedeckt ist, jedoch näher bei 10-12 km liegen, wie das Lokalisationen von Erdbeben entlang der Verwerfung vermuten lassen (Rögnvaldsson et al., 1998). Unter der Annahme einer kompletten Entspannung des Systems nach den Erdbeben im Jahre 1872 und einem steten Spannungsaufbau während der letzten 140 Jahre – was bedeuten würde dass der Krafla Vulkanausbruch 1975-1984 keinen Einfluss auf die HFV hatte – schätzen wir, dass das aktuelle seismische Potential der Verwerfung einem $M_{6.8\pm 0.1}$ Erdbeben entspricht. Ausserdem messe und modelliere ich eine vulkanische Hebung von Theistareykir zwischen 2007 and 2009 mit einer absoluten Volumenänderung von $25 \times 10^6 \text{ m}^3$ und einer maximalen Hebung von $\sim 8 \text{ cm}$. Die nicht-modellierte Restverformung der InSAR-Daten zeigt lokale, nicht-tektonische Signale, sowie Verformungen des Krafla Vulkans. Von letzteren Signalen wurde schon für den Zeitraum 1993-1999 berichtet (de Zeeuw-van Dalssen et al., 2004), doch ich zeige, dass diese Aktivitäten weiter andauerten. Eine weitere wichtige Erkenntnis ist, dass nebst dem Krafla Spaltenschwarm, welcher zur Zeit den grössten Anteil an Plattenausdehnung beherbergt, auch die westlichsten Spalte des Theistareykir Vulkansystems eine beachtliche Spreizungskomponente aufweist.

ABSTRACT

Iceland is one of the few places on Earth where plate spreading and the creation of new crust can be observed above sea level. Located on the Mid-Atlantic Ridge, Iceland belongs to the North American and the Eurasian plate and is spreading at a rate of nearly 2 cm/yr. The on-shore plate boundary is offset towards the East and links the Reykjanes Ridge in the South to the Kolbeinsey Ridge in the North. This onshore offset consists of the Eastern and Northern Volcanic Zone and is connected to the offshore ridge systems with the left-lateral South Iceland Seismic Zone and the right-lateral Tjörnes Fracture Zone (TFZ) in the North. These two transform zones are the seismically most active regions in Iceland and are capable of generating magnitude 7 earthquakes. Unlike most mid-ocean transforms, the TFZ does not consist of one transform fault, but is a 120 km by 70 km large zone with seismic activity concentrated along two lineaments, the Grímsey Oblique Rift (GOR) and the Húsavík Flatey fault (HFF). The GOR is a set of N-S trending normal and strike-slip faults accompanied by volcanism and is completely offshore. The sub-parallel HFF is located Southwest of the GOR and is a 100 km-long, right-lateral strike-slip fault with a minor extensional component. It is mostly offshore but for a 25 km-long part that enters land just next to the fishing town Húsavík. In historical times, major earthquakes occurred on the HFF in 1755 (M7.0) and in 1872, when two earthquakes ruptured the HFF with estimated magnitudes of M6.5 within one day. It is therefore of high interest to not only estimate the seismic hazard of the HFF but also to constrain the current rift-transform kinematics of the TFZ and thus shed light on how spreading at mid-ocean ridges interacts with transform faults.

In this study I use geodetic data (GPS/Interferometric Synthetic Aperture Radar) to measure the interseismic deformation rates in the TFZ and derive a kinematic model of the North Icelandic plate boundary. In 2006/7 we installed ten continuous GPS instruments in the region to complement the existing network of four stations. We also extended the time-series of 44 GPS points that were first measured in 1997 (Jouanne

et al., 2006) with several GPS campaign measurements between 2007 and 2011 to a total of 14 years and installed 14 additional GPS points. I extracted the deformation rates using time-series analysis and designed an interseismic back-slip model to constrain the key parameters of the kinematics of the TFZ. In addition I used time-series analysis of a network of 92 InSAR interferograms spanning the time period between 1992 and 2009 to assess the epoch-by-epoch deformation in line-of-sight. The InSAR data set does not only complement the GPS data nicely in time and space in the TFZ, but also provides additional spatial and temporal information about the volcanic deformation processes at Theistareykir and Krafla, two volcanoes of the Northern Volcanic Zone that were deforming during our observation period.

Our results show that one third of the current plate motion is accommodated by the HFF, with the rest being picked up by the GOR. For the HFF I find a slip-rate of 6.8 ± 0.3 mm/yr and a locking depth of shallow $6.2_{-0.7}^{+0.8}$ km, which probably only applies for the Eastern part of the fault, where the data resolution is very good. The Western, offshore part of the fault might have a larger locking depth, probably closer to 10-12 km as suggested by depths of earthquakes in that area (Rögnvaldsson et al., 1998). Given complete stress release of the fault after the M6.5 earthquakes in 1872 and steady stress accumulation since then, i.e. assuming that the Krafla rifting episode 1975-1984 had no influence on the fault loading, the current seismic potential of the fault is equivalent to a $M_w 6.8 \pm 0.1$ earthquake. I also measure ~ 8 cm of uplift at Theistareykir between 2007 and 2009 and model it with a volume change of 25×10^6 m³ at a depth of 8.5 km. Furthermore, I find that volcanic deformation at Krafla, as it has been reported for the time-period of 1993-1999 (de Zeeuw-van Dalssen et al., 2004) is still ongoing. Finally, although most of the current plate extension appears to be focused within the Krafla fissure swarm, I show that also the westernmost fissures of Theistareykir exhibit concentrated extensional deformation.