

**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Fakultät Umweltwissenschaften Institut für Planetare Geodäsie
Geodätische Erdsystemforschung

ZUM VERSTÄNDNIS DES EISIGEN SÜDENS

20 Jahre Forschung in Geodäsie, Geodynamik
und Glaziologie 1992-2012: Festschrift zum
65. Geburtstag von Prof. Reinhard Dietrich

FEUERLAND: SYMPTOME EINER AKTIVEN PLATTENGRENZE

Luciano Mendoza¹, Gerardo Connon², Andreas Richter³

¹ Universidad Nacional de La Plata, Argentina; ² Estación Astronómica Río Grande, Argentina;

³ TU Dresden

Tierra del Fuego - Feuerland - nannte Ferdinand Magellan die Insel zu seiner Linken, als er 1520 an der äußersten Südspitze Südamerikas die Durchfahrt vom Atlantik zum Pazifischen Ozean suchte. Auf der Karte hebt sich der nordwestliche Arm der von ihm entdeckten und heute nach ihm benannten Meeresstraße durch seine langgestreckte, schnurgerade Form vom filigran zergliederten Labyrinth des feuerländischen Archipels ab. Dieses markante Lineament findet nach Südosten seine Fortsetzung im Almirantazgo Fjord und schließlich im Lago Fagnano (Abb. 1). Dieser 100 km lange, schmale See wurde nach dem salesianischen Missionar José Fagnano benannt, der im ausgehenden 19. Jh. auf der Insel wirkte und deren Inneres erkundete. Diese durchgehende, über weite Strecken mit Wasser gefüllte und die Hauptinsel Feuerlands in zwei Blöcke trennende Kerbe in der Erdoberfläche ist geologischen, geomorphologischen und geophysikalischen Erkenntnissen zufolge die Manifestation eines tektonischen Stö-

runungssystems - des Magallanes-Fagnano-Störungssystems (MFS, Lodolo u. a., 2003). Die Bezeichnung dieser tektonischen Struktur vereint also zwei Männer, den Portugiesen des 16. Jh. und den Italiener des 19. Jh., von denen vermutlich keiner jemals das Vorhandensein dieser tektonischen Störung erahnte.

Das MFS ist durch eine rezent aktive, links-laterale Transformbewegung gekennzeichnet (Lodolo u. a., 2003). Es repräsentiert die aktive Plattengrenze zwischen der süd-amerikanischen tektonischen Platte im Norden und der Scotia-Platte im Süden. Die Scotia-Platte ist relativ klein und geologisch jung. Ihre Bildung verdankt sie dem im späten Oligozän (vor ca. 30 Mio. J.) einsetzenden *Seafloor-spreading* in der westlichen Scotia-See, welches zur Öffnung der Drake-Passage und somit zur Abtrennung Antarktikas von Südamerika und dem übrigen Gondwana führte (Cunningham u. a., 1995). Seit Abschluss des *Seafloor-spreading* (vor ca. 7

Mio. J.) erfolgt ein Teil der Relativbewegung zwischen südamerikanischem und antarktischem Kontinent entlang der transformierten Plattengrenze zwischen der südamerikanischen und der Scotia-Platte. Diese erstreckt sich von den Südgeorgischen Inseln über mehr als 3000 km westwärts, entlang des Nord-Scotia-Rückens und des MFS, bis zur *Triple-junction* zwischen Scotia-, südamerikanischer und antarktischer Platte am südlichen Ausläufer des Chile-Grabens (Bird, 2003; Forsyth, 1975). Sowohl die Scotia-Platte als auch ihre Grenze mit der Südamerikaplatte befinden sich beinahe ausschließ-

lich unter dem Ozean und lediglich in Feuerland tritt ihr westlichster Teil zutage. Feuerland macht also diese Platte für geodätische Messungen zugänglich und bietet somit eine einzigartige Gelegenheit zur Erforschung der geodynamischen Prozesse entlang der Plattengrenze. Auf der Hauptinsel Feuerlands wurde eine Reihe sub-parallel zum MFS orientierter Verwerfungen identifiziert (z.B. Lago-Deseado-Störung, Beagle-Kanal-Störung, Carbajal-Tal-Störung; Cunningham, 1993; Klepeis, 1994; Tassone u. a., 2005). Der exakte Verlauf der einzelnen Störungssegmente, ihre rezente Aktivität und ihr

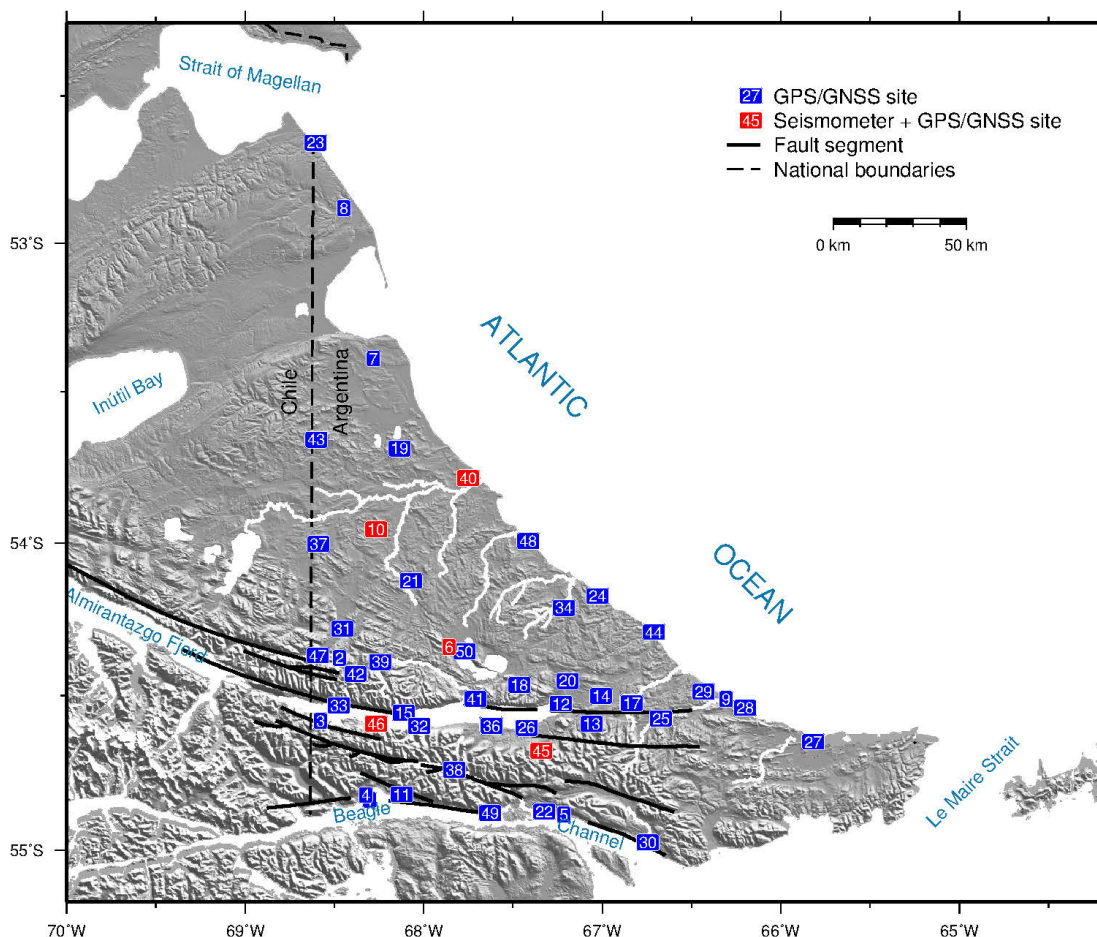


Abbildung 1: Karte des argentinischen Teils der Hauptinsel Feuerlands. GNSS-Messpunkte sind durch blaue Kästchen mit Nummern gemäß Tab. 1 markiert. GNSS-Messpunkte, die gleichzeitig Seismometerstationen sind, sind durch rote Kästchen hervorgehoben. Schwarze Linien zeigen den Verlauf von Verwerfungen gemäß publizierter geologischer, geomorphologischer und geophysikalischer Ergebnisse. Die gerissene Linie stellt die Staatsgrenze zwischen Argentinien und Chile dar. Relief: SRTM.

Mio. J.) erfolgt ein Teil der Relativbewegung zwischen südamerikanischem und antarktischem Kontinent entlang der transformierten Plattengrenze zwischen der südamerikanischen und der Scotia-Platte. Diese erstreckt sich von den Südgeorgischen Inseln über mehr als 3000 km westwärts, entlang des Nord-Scotia-Rückens und des MFS, bis zur *Triple-junction* zwischen Scotia-, südamerikanischer und antarktischer Platte am südlichen Ausläufer des Chile-Grabens (Bird, 2003; Forsyth, 1975). Sowohl die Scotia-Platte als auch ihre Grenze mit der Südamerikaplatte befinden sich beinahe ausschließ-

lich unter dem Ozean und lediglich in Feuerland tritt ihr westlichster Teil zutage. Feuerland macht also diese Platte für geodätische Messungen zugänglich und bietet somit eine einzigartige Gelegenheit zur Erforschung der geodynamischen Prozesse entlang der Plattengrenze. Auf der Hauptinsel Feuerlands wurde eine Reihe sub-parallel zum MFS orientierter Verwerfungen identifiziert (z.B. Lago-Deseado-Störung, Beagle-Kanal-Störung, Carbajal-Tal-Störung; Cunningham, 1993; Klepeis, 1994; Tassone u. a., 2005). Der exakte Verlauf der einzelnen Störungssegmente, ihre rezente Aktivität und ihr

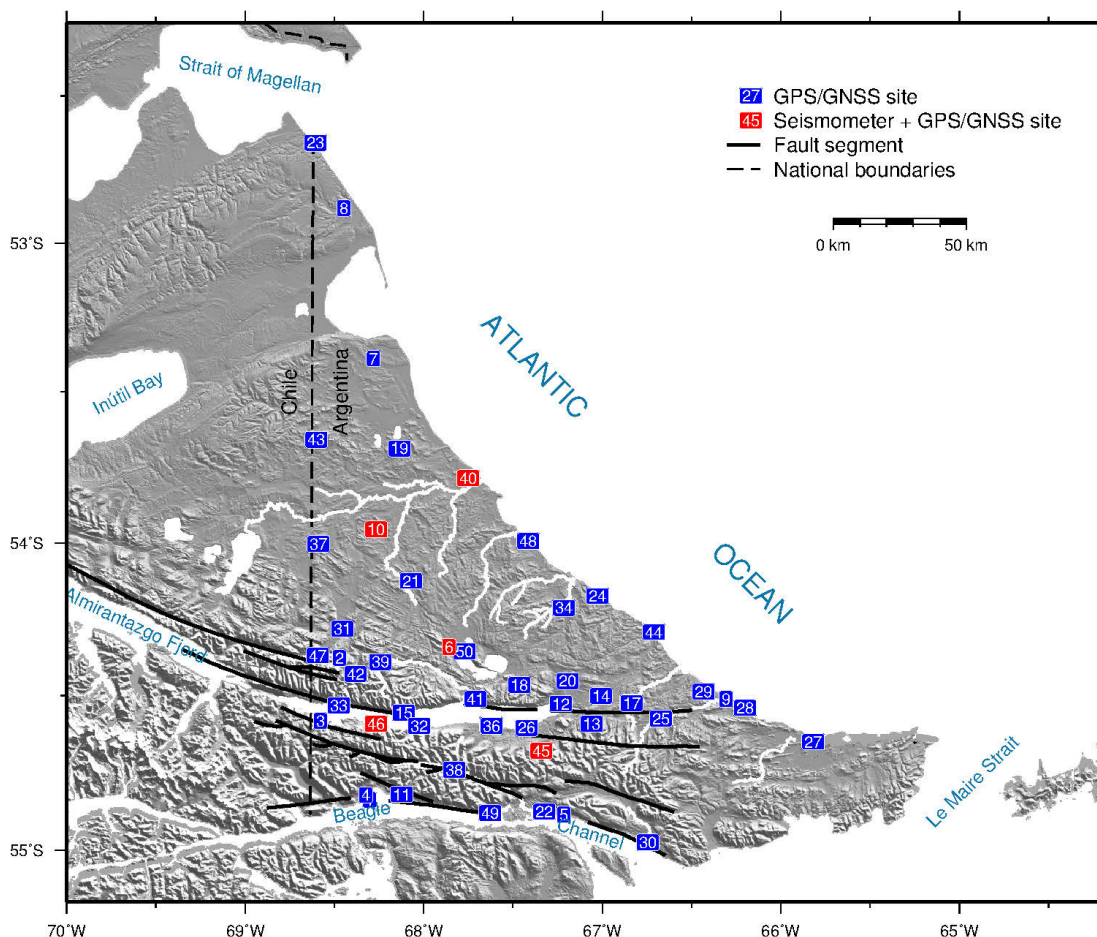


Abbildung 1: Karte des argentinischen Teils der Hauptinsel Feuerlands. GNSS-Messpunkte sind durch blaue Kästchen mit Nummern gemäß Tab. 1 markiert. GNSS-Messpunkte, die gleichzeitig Seismometerstationen sind, sind durch rote Kästchen hervorgehoben. Schwarze Linien zeigen den Verlauf von Verwerfungen gemäß publizierter geologischer, geomorphologischer und geophysikalischer Ergebnisse. Die gerissene Linie stellt die Staatsgrenze zwischen Argentinien und Chile dar. Relief: SRTM.

Beitrag zur Relativbewegung zwischen südamerikanischer und Scotia-Platte sind jedoch weiterhin Gegenstand von Kontroversen.

Die Beobachtung der Bewegung von fest vermarkten Messpunkten mit GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*, schließt das *Global Positioning System* GPS ein) stellt ein geeignetes Verfahren zur Untersuchung tektonisch induzierter Krustendeformationen dar. Die ersten geodätischen GNSS-Beobachtungen in Feuerland wurden im November 1993 durch argentinische Wissenschaftler der *Universidad Nacional de La Plata* und der *Estación Astronómica Río Grande* durchgeführt. Das damals beobachtete Netz umfasste 20 über den argentinischen Teil der Insel verteilte Messpunkte, und hatte die erstmalige Materialisierung eines amtlichen geodätischen Festpunktnetzes für die Provinz Tierra del Fuego zum Ziel (Perdomo u. a., 1993). Dieser Zielstellung geschuldet wurde bei der Wahl der Punktlokationen der Zugänglichkeit über das öffentliche Wegenetz ein großes Gewicht verliehen (Mendoza, 2008).

In der Folge führte die oben genannte Gruppe beinahe alljährlich Messkampagnen zur wiederholten GNSS-Beobachtung dieses Netzes durch. Vereinzelt wurde das Netz durch die Vermarkung zusätzlicher Messpunkte ergänzt. In der *Estación Astronómica Río Grande* wurde 1997 eine GNSS-Permanentstation in Betrieb genommen, die Teil des globalen IGS-Netzes ist. Die Auswertung dieser wiederholten Beobachtungen erlaubte die Bestimmung von Punktgeschwindigkeiten und somit schließlich den ersten messtechnischen Nachweis der rezenten Relativbewegungen des MFS (Del Cogliano u. a., 2000).

Unser Jubilar Reinhard Dietrich wurde im Februar 2001 auf einem IAG-Symposium in Cartagena (Kolumbien) Zeuge eines Vortrags über die Ergebnisse der GNSS-Messungen auf Feuerland. Diese Begegnung gab den Anstoß für eine bis heute andauernde Kooperation seiner Arbeitsgruppe am Insti-

tut für Planetare Geodäsie der Technischen Universität Dresden mit den argentinischen Astronomen der *Universidad Nacional de La Plata* und der *Estación Astronómica Río Grande*. Anfang 2003 fand die erste gemeinsame Messkampagne in Feuerland statt. Eines der Ziele dieser Kampagne bestand in der systematischen Verdichtung des bestehenden Punktnetzes für die Beobachtung und detaillierte Untersuchung der Krustendeformation entlang des MFS (Hormaechea u. a., 2004). Viele der neuen Messpunkte fielen, dem vermuteten Verlauf der tektonischen Störungen folgend, in entlegene, über das spärliche Straßennetz unerreichbare Gebiete. Dies erforderte die Erschließung alternativer, mit dem Vordringen in immer unwegsameres Gelände zunehmend abenteuerlicher Fortbewegungsmittel: von Bootsfahrten auf dem launischen Lago Fagnano, über gewagte (und nicht immer erfolgreiche) Flussdurchquerungen im Geländewagen, Quad-ATV-Touren im Wettlauf mit den Gezeiten, Streifzüge auf (bisweilen störrischen) Pferden bis hin zu mehrtägigen Fußmärschen. Doch auch hinsichtlich der Beobachtungsmethodik (Länge der Beobachtungssessions, Vermarkungsprinzip), Analyseansätze und geodynamischer Interpretation verlieh Reinhard Dietrichs Engagement der geodätischen Erforschung des MFS eine neue wissenschaftliche Qualität (Mendoza, 2008). Heute liegen in einem Netz von 50 Messpunkten im argentinischen Teil Feuerlands GNSS-Beobachtungen aus 20 Messkampagnen über 20 Jahre vor (Tab. 1).

Ein weiteres Indiz für die rezenten tektonischen Prozesse stellt die seismische Aktivität der Region dar. Historisch belegte Ereignisse schließen zwei Erdbeben der Stärke 7,5 bzw. 7,8 am 17. Dezember 1949 (Jaschek u. a., 1982) sowie ein weiteres Ereignis der Stärke 7,0 im Jahre 1879 (Lomnitz, 1970) ein. Im Rahmen einer Zusammenarbeit zwischen der *Universidad Nacional de La Plata*, der *Estación Astronómica Río Gran-*

Tabelle 1: Übersicht der aktuell vorliegenden GNSS-Beobachtungsdaten (Stand: 2014). Für jeden der 50 Messpunkte des regionalen GNSS-Netzes im argentinischen Teil Feuerlands sind die Nummer gemäß Abb. 1, die Stations-ID, sowie pro Messkampagne (Kalenderjahr) die Anzahl der in die Prozessierung eingegangenen Beobachtungstage angegeben. C: kontinuierliche Datenaufzeichnung.

Nr.	ID	93	94	95	97	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
1	AUTF												C	C	C	C	C	C	C	C	C
2	BIAN																2		5	3	3
3	BROD																4	3	4		4
4	CADI	3	2	1	1		2	1	1	2	2	9	4					4		5	3
5	CAMB																5	212		277	12
6	CERR																121	91		5	
7	CRUC											3			5		60	4		5	
8	CULL	2										2			3			4			
9	DANP													6		4	3		4	6	4
10	DESP	3	1	1	2	2	2								5		47			5	
11	ENCA																	4	5	2	4
12	EOLO	6	4	5	2	4	6	1	4	2	5	4	2	5	3			4			
13	ESCO										5	2	2		3	4		4			
14	ESPA																	4	5	5	
15	ESPE									4	7	4	5			4	5	4	5		3
16	ESSA										5	3	4	6	3	4		4		5	
17	ESSX										1			1						5	
18	EUSH								6	7	8	4				4		4		5	
19	FLAM	2					1					2			6			4			
20	GAME														4	4	4	4	8	5	
21	GUAZ	5	2	3	2	3	2	1				2						4		5	
22	HARB				2	2	2		3	3	4	4	4				2	4		4	
23	HIT1														3			4			4
24	INES																56			260	14
25	IRIS											7		8	7	4	5	4		5	
26	KOSO									2	6	3			4	4		3	6	5	
27	LET2																	4	4		4
28	MALE													3		4		4	4	7	4
29	MAR1													11	5	3	62	4		5	
30	MOAT	2	2	3	1	2	1			2	3	5	3					4		5	
31	ORJA									2	4	2			3		3	4	5	5	4
32	PALA									4	5	5	6			4		3	5		
33	PISA									4	5	4				2	5	4	4		
34	PJUS	5	4	6	2	2	4	1		2	2	5						3			
35	PRE2									7	12	9	3		2	4					
36	PRE3																	3	6	5	
37	RADM	2				1	2								4			4		5	
38	RHAM	5	4	4	2	4	4	1	4	6	4	7	5					3			
39	RIOC	2	1				2	3		4	2	6	3				4	3	4	5	4
40	RIOG					C	C	C	C	C	C	C	C	(C)	C	C	C	C	C	C	C
41	RIOS									2	6	9	6			5		4			
42	RMIO																3		3	5	4
43	SALV	1										3			9					4	
44	SPAB	3	1	1	2	2	2		3	2	3	2		6	5			2		5	
45	TERM						1			7	10	17	9	12	19	13	92	107	18	319	27
46	TORI									4	6	4	5			4	87	4	5		4
47	TURB																1	3	5	5	4
48	VIAM	3	3	2	2	3	2	1				3			4			3			
49	YAMA																3	4	4		4
50	YEHU	4	3	2	2	2	3			4	5	2						3			

de und dem *Instituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale* (Italien) wurde 1999 in der *Estancia Despedida* (Nr. 10 in Abb. 1; selbe, nur südliche geografische Breite wie Eggerstorf) erstmals ein Seismometer in Betrieb genommen. Dies war der Ausgangspunkt für den Aufbau ei-

nes seismologischen Netzes im argentinischen Teil Feuerlands mit bis zu vier operationellen Stationen (Tab. 2).

Die GNSS-Beobachtungsdaten sämtlicher Kampagnen und Messpunkte wurden mit der Bernese GNSS Software v5.1 (Dach

u. a., 2007) prozessiert. Dabei kamen Produkte der Reprozessierung eines globalen Netzes permanenter GNSS-Stationen zur Anwendung (Fritsche u. a., 2014). Der Homogenität und Langzeitstabilität der Produkte und Modelle kommt eine besondere Bedeutung zu wenn, wie im vorliegenden Fall, in einem regionalen Netz aus episodischen GNSS-Beobachtungen über einen langen Zeitraum, jedoch mit einer zwischen den Messkampagnen stark variierenden Netzkonfiguration Geschwindigkeiten und Deformationsraten bestimmt werden sollen (Mendoza, 2008). Im Ergebnis der GNSS-Prozessierung liegen für jeden Messpunkt dreidimensionale Positionen und Geschwindigkeiten bezüglich des terrestrischen, GNSS-spezifischen Referenzrahmens IGS08 (Altamimi u. a., 2011) vor. Die punktspezifischen Genauigkeiten der horizontalen Geschwindigkeitskomponenten, unter Berücksichtigung der Korrelation zwischen aufeinanderfolgenden Beobachtungen (Mao u. a., 1999; Williams, 2003) sowie dem für den jeweiligen Punkt vorliegenden Datenumfang, liegen nahe 0,5 mm/a (Mendoza u. a., 2014). Die Positionszeitreihen der wiederholt beobachteten Messpunkte belegen, dass deren Bewegung linear mit der Zeit abläuft (Mendoza u. a., 2011) und rechtfertigen somit die Anwendung des linearen Bewegungsmodells.

Zur quantitativen Bestimmung und Darstellung der horizontalen Deformation der Erdoberfläche im Untersuchungsgebiet wurde eine Strainanalyse auf der Grundlage der auf den GNSS-Messpunkten beobachteten Horizontalgeschwindigkeiten durchgeführt (Mendoza u. a., 2011). Abb. 2a zeigt die räumliche Verteilung der ermittelten Strainraten. Deutlich tritt ein ca. 30 km breites Band intensiver Oberflächendeformation (bis $0,2 \text{ mm km}^{-1} \text{ a}^{-1}$) zutage. Dieses folgt dem Verlauf der entlang des Fagnanosees Ost-West-orientierten Segmente des MFS. Im Norden und Süden trennt das Deformationsband zwei Blöcke mit deutlich geringe-

ren Deformationsraten voneinander. Diese Blöcke können als repräsentativ für die genähert starren Südamerika- und Scotia-Platten betrachtet werden. Auf der Grundlage früherer Ergebnisse wurde die links-laterale Relativgeschwindigkeit zwischen beiden Blöcken zu 4,4 mm/a bestimmt (Mendoza u. a., 2011). Jene Arbeit zeigte, dass die Relativbewegung zwischen beiden Blöcken keine reine Transformverschiebung ist, sondern von normal zum Störungsverlauf orientierten Deformationskomponenten begleitet wird. Entlang des MFS-Deformationsbandes im Untersuchungsgebiet wurde von West nach Ost der Übergang von einer konvergenten (Stauchung) zu einer divergenten Komponente (Dehnung) identifiziert (Mendoza u. a., 2011). Neuere Ergebnisse, welche die Daten sechs zusätzlicher Messkampagnen sowie neue Messpunkte einschließen, deuten auf ein entgegengesetztes Muster des Deformationsregimes hin (Abb. 2c und d): im westlichen Teil des Deformationsbandes herrscht neben der Transformbewegung eine divergente Komponente vor, während eine verstärkte Konvergenz östlich davon auftritt. Die Richtungen dieser Dehnung (NW-SE) und Stauchung (NE-SW) ist konsistent mit der links-lateralen Transformbewegung. Die Umkehrung des Deformationsregimemusters zwischen beiden Lösungen deutet auf eine unzureichende Genauigkeit der früheren Ergebnisse hin und unterstreicht die Notwendigkeit langer Beobachtungszeitreihen.

Die Lokalisierung der Zonen erhöhter Oberflächendeformation erlaubt klare Aussagen zur Aktivität und Intensität der in Abb. 1 und 2b eingezeichneten Störungssegmente. Ausgehend von einer bekannten Geometrie und einem bekannten Verwerfungsbetrag zwischen zwei Blöcken kann für einen elastischen, homogenen Halbraum die resultierende interseismische Oberflächendeformation modelliert werden (Meade und Hager, 2005). Die neuen beobachteten Horizontaldeformationsraten dienen

Tabelle 2: Übersicht über das Seismometernetz (Stand 2014). Für jede der fünf Seismometerstationen im argentinischen Teil Feuerlands ist ihre Nummer gemäß Abb. 1, die ID des GNSS-Messpunkts, die ID der Seismometerstation, sowie der Sensortyp und der Operationszeitraum, ggf. auch für frühere Installationen, angegeben. Sämtliche Seismometer registrieren drei Komponenten.

Nr.	GNSS	ID	Sensor	operativ	Sensor	operativ
10	DESP	DSPA	Guralp CMG-3T	seit 1999		
45	TERM	TRVA	Guralp CMG-3ESPDE	seit 2014	Guralp CGM-3TD	2006-2014
46	TORI	BETA	Guralp CMG-40TD	seit 2011	Lennartz	2006-2011
6	CERR	ELCA	Guralp CMG-40TD	2007-2011		
40	RIOG	EARG	Guralp CGM-3TD	seit 2014	Lennartz	2011-2012

als Grundlage für eine inverse Modellierung der geometrisch-kinematischen Verhältnisse zwischen zwei, die Südamerika- und Scotiaplatte repräsentierenden Lithosphärenblöcken. Ausgehend von der aus geologischen, geomorphologischen und geophysikalischen Untersuchungen vorliegenden Information über den Verlauf von drei Segmenten des MFS an der Erdoberfläche wurden die Geschwindigkeitskomponenten der relativen Verschiebung (*strike-slip* und *dip-slip*), die Kopplungstiefe (*locking depth*) sowie erstmals auch der Neigungswinkel der Verwerfungsebene (*dip angle*) bestimmt (Mendoza u. a., 2014). Dieser Modellierung zufolge beläuft sich die Relativverschiebungsgeschwindigkeit zwischen beiden Lithosphärenblöcken parallel zum Störungsverlauf auf 5,8 mm/a. Die Geschwindigkeitskomponente normal zum Störungsverlauf (*dip-slip*) variiert zwischen den drei Störungssegmenten zwischen -2,3 (Zentrum) und +2,9 mm/a (Westen), konsistent mit dem Muster der Oberflächendehnung und -stauchung in Abb. 2c und 2d. Die Kopplungstiefe beträgt 11 km. Die Verwerfungsebene ist 66° aus der Vertikalen ausgelenkt, so dass der nördliche Block mit zunehmender Tiefe weiter nach Süden vordringt.

Eine Prozessierung der Seismometeraufzeichnungen in Feuerland von Juni 1999 bis Dezember 2012 lieferte vorläufige Epizentrumskoordinaten, Stärken und, wenn Aufzeichnungen an vier Seismometerstationen vorlagen, Tiefen von 1071 seismischen Ereignissen (Sabbione u. a., 2007, 2012).

Zur Prozessierung wurde das Softwarepaket SEISAN (Havskov u. a., 2012) und ein regionales Modell der Ausbreitungsgeschwindigkeiten seismischer Wellen (Buffoni u. a., 2009) verwendet. In der Regel sind die aufgezeichneten Beben von geringer Stärke, im Mittel unter 2 (Mendoza u. a., 2011). Die relativ geringe Seismizität ist konsistent mit dem zeitlich linearen Verlauf der aus GNSS abgeleiteten Krustenbewegungen und deutet darauf hin, dass die Transformbewegung der beiden Blöcke im Beobachtungszeitraum mit geringer Reibung und ohne die Akkumulation großer Kräfte vonstatten ging. Die Lage der im Untersuchungsgebiet lokalisierten Epizentren ist in Abb. 2b wiedergegeben. Es wird deutlich, dass die Epizentren der weitaus überwiegenden Mehrzahl der registrierten Ereignisse dem Verlauf des MFS folgt. Sie befinden sich jedoch in der Regel südlich des Oberflächenverlaufs der Hauptsegmente des MFS (Abb. 2b). Diese Tatsache bestätigt die Ergebnisse der inversen Modellierung auf der Grundlage der GNSS-Beobachtungen, welche ein Einfallen der Verwerfungsebene nach Süden anzeigen.

Abgesehen vom MFS weisen die ermittelten Epizentren Häufungen in zwei weiteren Zonen auf, welche möglicherweise neue, interessante Hinweise auf die seismotektonische Situation der Region geben

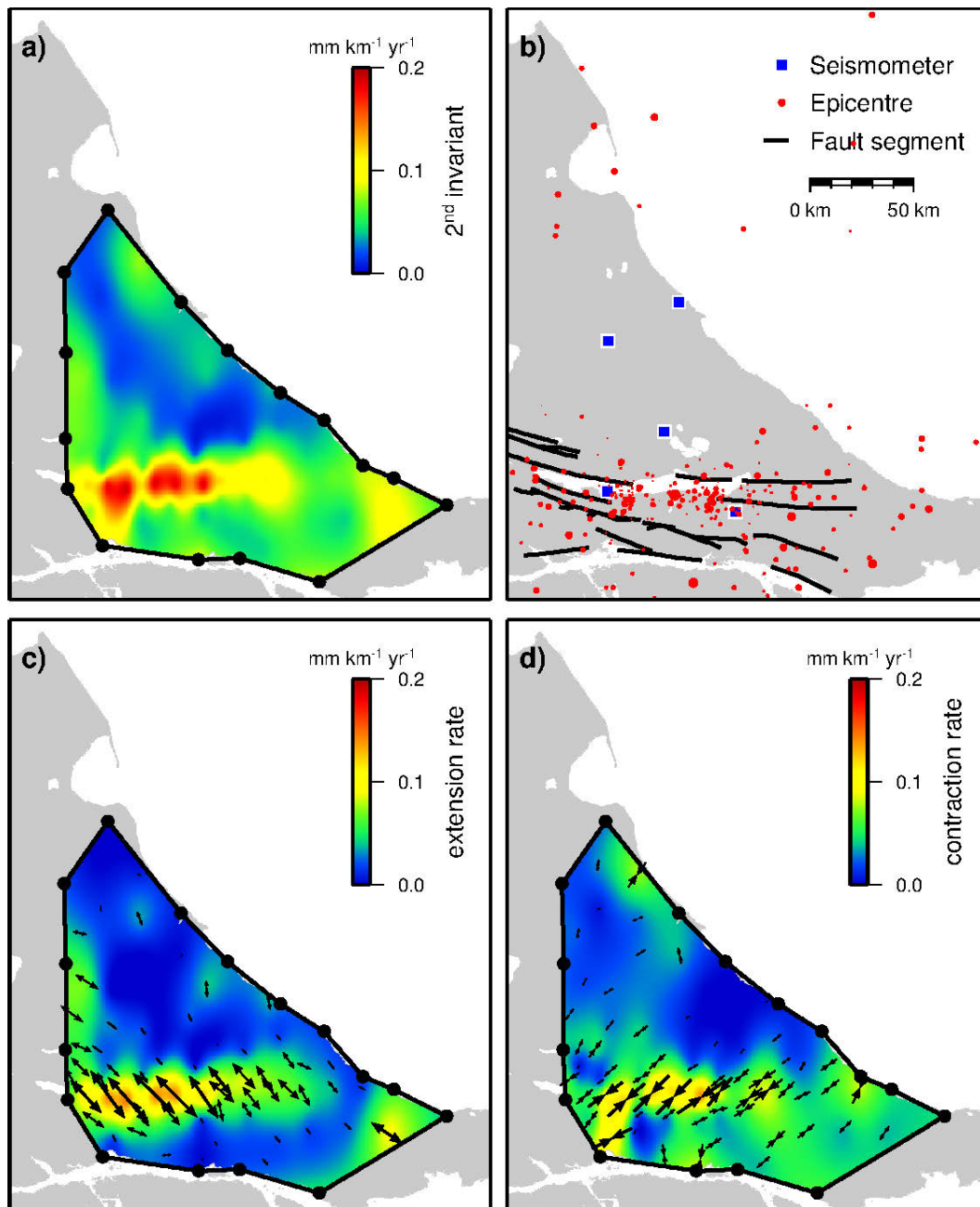


Abbildung 2: Ergebnisse der Deformationsanalyse der GNSS-Beobachtungsdaten und einer vorläufigen Prozessierung der Seismometeraufzeichnungen. a) Horizontale Deformationsraten im Untersuchungsgebiet. In Dreiecken zwischen den GNSS-Messpunkten wurden auf der Grundlage der beobachteten Horizontalgeschwindigkeiten Strainraten berechnet und flächenhaft interpoliert. b) Epizentren der mit den Seismometern im Untersuchungsgebiet im Zeitraum 1999-2012 aufgezeichneten Erdbeben (rote Punkte, Durchmesser gibt Stärke an). Der Verlauf von tektonischen Störungen und die Lage der Seismometerstationen sind ergänzt. c) Horizontale Dehnungsraten, Vektoren zeigen für jedes der Dreiecke zwischen den Messpunkten Richtung und Geschwindigkeit der Dehnung an. d) Horizontale Stauchungsraten (wie 2c).

könnten. Eine hohe Konzentration seismischer Ereignisse wurde unter der *Cordillera Darwin* angetroffen (in Abb. 2b nicht enthalten). Die Darwin-Kordillere liegt westlich des südlichen Teils des Untersuchungsgebiets auf chilenischem Territorium. Sie beherbergt eine Eiskappe, welche im Pleistozän Ausgangspunkt gewaltiger, bis zur heutigen Atlantikküste vorgestoßener Gletscher war, heute jedoch rapide an Eismasse verliert (Strelin u. a., 2008). Die räumliche Koinzidenz zwischen Vereisungszentrum und seismischer Aktivität wirft die Frage nach der Möglichkeit eines kausalen Zusammenhangs auf. Eine zweite, geringere, aber doch bemerkenswerte Häufung von Epizentren tritt im Norden der Insel im Bereich der *Baía San Sebastián* auf. Diese Bucht wird von einer auffallend flachen Niederung mit der *Baía Inútil* verbunden (Abb. 1). Dieser morphologische Komplex wurde von Geologen als Graben interpretiert (Menichetti u. a., 2008), und die vorliegenden seismometrischen Daten könnten auf eine rezente Aktivität dieser tektonischen Struktur hindeuten.

Gegenwärtig ist das Potential des seismometrischen Datenschatzes für die Untersuchung der tektonischen Prozesse in Tierra del Fuego bei Weitem noch nicht ausgeschöpft. An der *Universidad Nacional de La Plata* wird gegenwärtig eine Promotion angefertigt, welche die Analyse und seismotektonische Interpretation der Seismometeraufzeichnungen in Feuerland zum Ziel hat (Bollini und Sabbione, 2014). Doch auch die GNSS-Daten bergen noch unerschlossene Erkenntnisse. Künftige Analysen werden auch die vertikale Deformationskomponente einbeziehen. Damit in unmittelbarem Zusammenhang steht die Berücksichtigung kurzzeitiger und glazial-isostatischer

(Darwin-Kordillere) Auflastsignale. Eine Verbesserung in der inversen Modellierung der mit GNSS beobachteten Oberflächendeformation lässt die Einbeziehung einer viskosen Deformationskomponente erwarten. Die Fortsetzung der Seismometeraufzeichnungen und der GNSS-Beobachtungen in zukünftigen Messkampagnen werden die Genauigkeit und räumliche Auflösung der Ergebnisse weiter erhöhen und eine Ausdehnung der Untersuchungen auf den chilenischen Teil der Insel ermöglichen. Auf chilenischer Seite, aber auch in Schlüsselgebieten im argentinischen Teil (Graben *San Sebastián*, Beagle-Kanal) wurden bereits neue GNSS-Messpunkte angelegt und harren ihrer wiederholten Beobachtung. Schließlich stehen zusätzliche, komplementäre Datensätze zur Verfügung, deren Integration in die Interpretation der vorgestellten Ergebnisse zu einem tieferen Verständnis der Struktur und Dynamik der Lithosphäre verhelfen kann. Dazu zählen ein regionales Geoidmodell (Del Cogliano u. a., 2007; Gomez u. a., 2013), die Lokalisierung einer regionalen Anomalie im gravimetrischen Ozeanauflastsignal und Seegezeiten im Lago Fagnano (Richter u. a., 2009), sowie die angedachte Analyse von GNSS-Daten hinsichtlich der Ausbreitung der Oberflächewelle des Maule-Erdbebens während der GNSS-Messkampagne 2012.

Eine Diagnose erlauben die Untersuchungen am *Fin del Mundo*, dem selbsterklärten „Ende der Welt“, ganz sicher: Der Patient lebt! Unsere Seismometer hören seinen Puls und unsere GNSS-Antennen sehen seine Bewegungen. Bei der Deutung der festgestellten Symptome oder beim Verschreiben neuer Untersuchungen sind uns Dein Rat und Deine Erfahrung, lieber Reinhard, wie stets willkommen und wichtig.

LITERATUR

- Altamimi, Z., X. Collilieux und L. Metivier (2011). ITRF2008: an improved solution of the international terrestrial reference frame. *Journal of Geodesy* 85, S. 457–473.
- Bird, P. (2003). An updated digital model of plate boundaries. *Geochemistry Geophysics Geosystems* 4.3, S. 1027.
- Bollini, M.C. und N.C. Sabbione (2014). Moment tensor solution for a M4.2 event in Tierra del Fuego. *Earth Sciences Research Journal* 18. Abstracts of IASPEI Regional Conference, Comisión LACSC, S. 170–171.
- Buffoni, C., N. Sabbione, G. Badi, G. Connon und J.L. Hormaechea (2009). „Determinación de la estructura de velocidades y factores de atenuación en la isla de Tierra del Fuego a partir de la sismicidad local“. In: *Proceedings XXIV Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas*. Mendoza.
- Cunningham, W.D. (1993). Strike-slip faults in the southernmost Andes and the development of the Patagonian orocline. *Tectonics* 12.1, S. 169–186.
- Cunningham, W.D., I.W.D. Dalziel, T.-Y. Lee und L.A. Lawver (1995). Southern South America-Antarctic Peninsula relative plate motions since 84 Ma: implications for tectonic evolution of the Scotia Arc region. *Journal of Geophysical Research* 100.B5, S. 8257–8266.
- Dach, R., U. Hugentobler, P. Fridez und M. Meindl (2007). *Bernese GPS Software 5.0*. Astronomical Institute, University of Bern. Bern, Switzerland.
- Del Cogliano, D., R. Perdomo und J.L. Hormaechea (2000). „Desplazamiento entre placas tectónicas en Tierra del Fuego“. In: *Actas de la XX Reunión Científica de la Asoc. Arg. de Geof. y Geod.* Mendoza.
- Del Cogliano, D., R. Dietrich, A. Richter, R. Perdomo, J.L. Hormaechea, G. Liebsch und M. Fritsche (2007). Regional geoid determination in Tierra del Fuego including GPS levelling. *Geologica Acta* 5.4.
- Forsyth, D.W. (1975). Fault Plane Solutions and Tectonics of south Atlantic and Scotia Sea. *Journal of Geophysical Research* 80.11, S. 1429–1443.
- Fritsche, M., K. Sosnica, C.J. Rodríguez-Solano, P. Steigenberger, K. Wang, R. Dietrich, R. Dach, U. Hugentobler und M. Rothacher (2014). Homogeneous reprocessing of GPS, GLONASS and SLR observations. *Journal of Geodesy*. (doi:10.1007/s00190-014-0710-3), S. 1–18.
- Gomez, M.E., D. Del Cogliano und R. Perdomo (2013). Geoid modelling in the area of Fagnano Lake, Tierra del Fuego (Argentina): insights from mean lake-level observations and reduced gravity data. *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica* 48, S. 139–147.
- Havskov, J., L. Ottemöller und P. Voss (2012). *Introduction to SEISAN and Computer exercises in processing earthquake data*.
- Hormaechea, J.L., D. Del Cogliano, R. Perdomo, R. Dietrich, G. Liebsch, A. Richter und M. Fritsche (2004). „Horizontal displacements in the Magallanes–Fagnano fault zone determined by repeated GPS observations“. In: *Extended Abstracts of the GeoSur2004 International Symposium*. Hrsg. von J. Carcione, F. Donda und E. Lodolo. Bd. 2 suppl. Bollettino di Geofisica teorica ed applicata. Trieste: Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, S. 137–139.
- Jaschek, E., N. Sabbione und P. Sierra (1982). *Reubicación de sismos localizados en territorio argentino (1920–1963)*. Techn. Ber. Observatorio de la Universidad Nacional de La Plata.
- Klepeis, K.A. (1994). The Magallanes and Deseado fault zones: Major segments of the South American-Scotia transform plate boundary in southernmost South America, Tierra del Fuego. *Journal of Geophysical Research* 99.B11, S. 22001–22014.
- Lodolo, E., M. Menichetti, R. Bartole, Z. Ben-Avraham, A. Tassone und H. Lippai (2003). Magallanes-Fagnano continental transform fault. *Tectonics* 22.6.
- Lomnitz, C. (1970). Major earthquakes and tsunamis in Chile, *Geologische Rundschau* 59.951. (doi:10.1007/BF02042278).
- Mao, A., C.G.A. Harrison und T.H. Dixon (1999). Noise in GPS coordinate time series. *Journal of Geophysical Research* 104.B2, S. 2797–2816.
- Meade, B.J. und B.H. Hager (2005). Block models of crustal motion in southern California constrained by GPS measurements. *Journal of Geophysical Research* 110.B3.
- Mendoza, L.P.O. (2008). *Densificación del Marco de Referencia Terrestre ITRF y determinación de movimientos de la corteza en la Tierra del Fuego*. Diss. Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

-
- Mendoza, L., R. Perdomo, J.L. Hormaechea, D. Del Cogliano, M. Fritsche, A. Richter und R. Dietrich (2011). Present-day crustal deformation along the Magallanes-Fagnano Fault System in Tierra del Fuego from repeated GPS observations. *Geophysical Journal International* 184.3, S. 1009–1022.
- Mendoza, L., A. Richter, M. Fritsche, J.L. Hormaechea, R. Perdomo und R. Dietrich (2014). Modeling deformation in Tierra del Fuego, South America-Scotia plate boundary, by inversion of geodetic data. *Geophysical Research Letters*. (in review).
- Menichetti, M., E. Lodolo und A. Tassone (2008). Structural geology of the Fuegian Andes and Magallanes fold-and-thrust belt - Tierra del Fuego Island. *Geologica Acta* 6.1, S. 19–42.
- Perdomo, R., J.L. Hormaechea, D. Del Cogliano, C. Brunini, D. Canosa, C. Mondinalli, J.C. Usandivaras, L.H. Barbero und G. Connon (1993). *La Red Geodésica y Geodinámica de la Tierra del Fuego*. Informe final. EARG, UNLP, Provincia de Tierra del Fuego, Servicio de Hidrografía Naval, CONICET.
- Richter, A., J.L. Hormaechea, R. Dietrich, R. Perdomo, M. Fritsche, D. Del Cogliano, G. Liebsch und L. Mendoza (2009). Anomalous ocean load tide signal observed in lake-level variations in Tierra del Fuego. *Geophysical Research Letters* 36, S. L05305.
- Sabbione, N., G. Connon, C. Buffoni und J.L. Hormaechea (2007). „Tierra del Fuego reference standard earthquake catalogue“. In: *Proceedings Geosur 2007 International Geological Congress on the Southern Hemisphere*. Santiago de Chile.
- Sabbione, N., G.C. Connon und J.L. Hormaechea (2012). *Complemento al Catálogo Sismológico de Referencia para Tierra del Fuego*.
- Strelin, J., G. Casassa, G. Rosqvist und P. Holmlund (2008). Holocene glaciations in the Ema Glacier valley, Monte Sarmiento Massif, Tierra del Fuego. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 260, S. 299–314.
- Tassone, A., H. Lippai, E. Lodolo, M. Menichetti, A. Comba, J.L. Hormaechea und J.F. Vilas (2005). A geological and geophysical crustal section across the Magallanes-Fagnano fault in Tierra del Fuego. *Journal of South American Earth Sciences* 19, S. 99–109.
- Williams, S.D.P. (2003). The effect of coloured noise on the uncertainties of rates estimated from geodetic time series. *Journal of Geodesy* 76.9-10, S. 483–494.