

1) Einleitung

Die Anden stellen ein klassisches Beispiel der Plattentektonik als Teil des ostpazifischen Ozean-Kontinent-Konvergenzsystems mit ihren ausgeprägten vulkanischen und seismischen Aktivitäten dar. Ozeanische Lithosphäre wird am Pazifischen Rücken erzeugt und an der Subduktionszone am Westrand des südamerikanischen Kontinents wieder in den plattentektonischen Kreislauf zurückgeführt. Auf dem Weg zwischen Rücken und Tiefseeegraben altert die Platte, kühlt sich aus, verdickt sich und sinkt schließlich als schwerere ozeanische Platte unter die leichtere Platte des südamerikanischen Kontinents ab. Die Anden und insbesondere die zentralen Anden zählen als Teil des zirkumpazifischen Erdbebengürtels zu den seismisch aktivsten Zonen der Erde (Abb. 1.1).

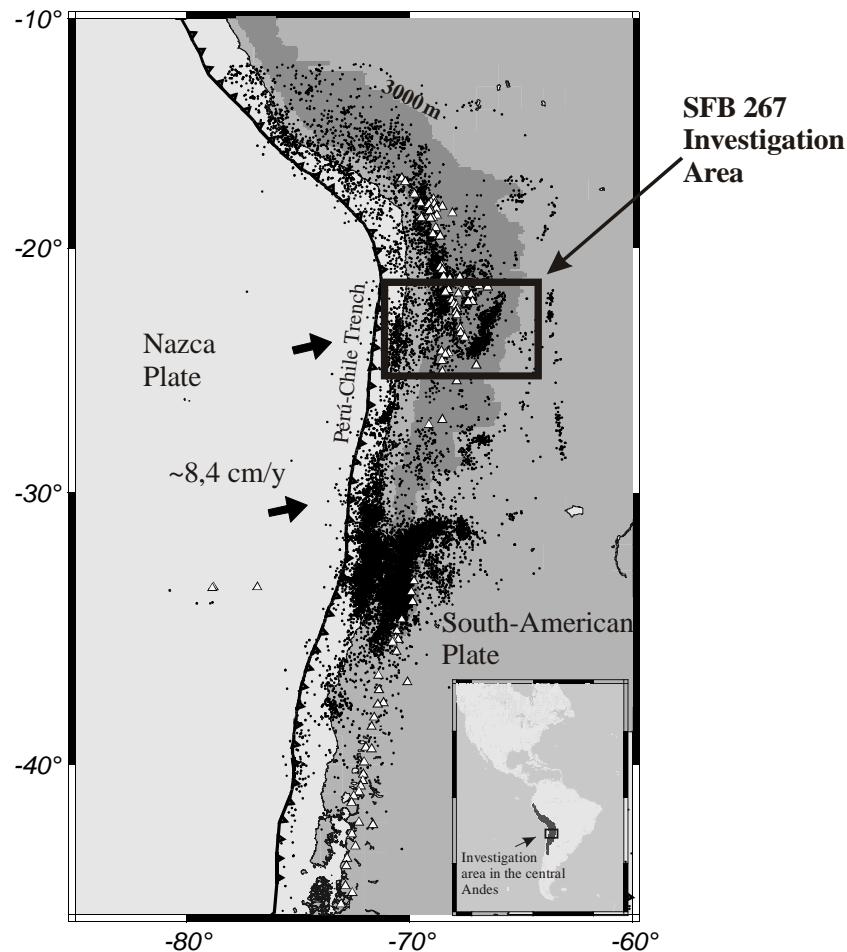


Abbildung 1.1

Rezente plattentektonische Situation am südamerikanischen Kontinentalrand. Die schwarzen Punkte stellen die Seismizität entlang der Grenze zwischen der Nazca- und südamerikanischen Platte (PDE-Katalog zwischen 12°S und 45°S für den Zeitraum 1960-2000) dar. Die kurzen Pfeile zeigen die Richtung der Nazca-Plattenbewegung (DeMets et al., 1990). Die Dreiecke bezeichnen den rezente Vulkanismus (González-Ferrán, 1994). Die graue Zone entspricht Höhen >3000 m.

Present tectonical situation at the south-american continental border. Black points refer to the distribution of seismicity along plate boundaries between Nazca and South-American plates (PDE-catalog between 12°S and 45°S since 1960 until 2000). Vector directions are associated to Nazca plate movements (DeMets et al., 1990). Triangles refer to present volcanism (González-Ferrán, 1994). The grey zone corresponds to altitudes > 3000 m.

Die heutige nach Osten abtauchende ozeanische Nazca-Platte wird mit einer durchschnittlichen Konvergenz-Geschwindigkeit von 8.4 cm/Jahr und einem Konvergenz-Winkel von 77°E subduziert (De Mets et al., 1990). Hierbei werden in der subduzierten ozeanischen Lithosphäre die Isolinien der Temperaturen weit nach unten gezogen. Modellrechnungen zufolge ist mit Temperaturen von nur 300°C zu rechnen (Kirby et al., 1996) in 100 Kilometern Tiefe für eine subduzierte Platte, die am Tiefseeegraben ein Alter von ca. 50 Mill. Jahren und eine Subduktions-Geschwindigkeit von ca. 8 cm/Jahr hat. In einer ungestörten Lithosphäre betragen die Temperaturen in dieser Tiefe etwa 1000°C bis 1200°C.

In der Entwicklung des in N-S Richtung über 8000 km langen und bis zu 800 km breiten andinen Gebirgssystems werden generell zwei Phasen unterschieden, die als der paläozoische "Herzynische Zyklus" und der mesozoisch-känozoische "Andine Zyklus" bezeichnet werden (Coira et al. 1982). Letzterer setzte zeitgleich mit dem Auseinanderbrechen von Pangäa im unteren Jura ein und hält bis heute an. Die Anden sind durch die kontinuierlich ostgerichtete Subduktion ozeanischer Lithosphäre unter den südamerikanischen Kontinent geprägt. Als Folge tektonischer Erosion am Kontinentalrand (von Huene und Lallemand 1990) erfolgte eine Migration der magmatischen Aktivität und damit auch eine Verlagerung der zugehörigen **Forearc**- und **Backarc**-Bereiche nach Osten (Reutter et al. 1988). Das heutige Erscheinungsbild der zentralen Anden wird durch wechselnde Konvergenzraten und -Winkel im Verlauf des andinen Zyklus mit entsprechenden Variationen des Spannungsregimes beeinflusst (Scheuber et al. 1994). Der magmatische Bogen verlagerte sich in den letzten 200 Mill. Jahren um ca. 200 km nach Osten (Boric et al., 1985; Allmendinger, 1986; Scheuber et al., 1994). In Jura und Unterkreide befand sich der vulkanische Bogen in der Küstenkordillere, in der Mittelkreide im Längstal, in Oberkreide und Alttertiär in der Präkordillere und seit dem Miozän in der Westkordillere. Der gegenwärtige vierte Vulkanbogen, die heutige Westkordillere, ist seit etwa 25 Mill. Jahren aktiv (Scheuber und Reutter, 1992). Abb.1.2 zeigt ein vereinfachtes Modell der heutigen Krustenstruktur, welches eine starke W-E-Asymmetrie hinsichtlich der Struktur und der Genese der Kruste bezüglich Forearc und Backarc aufweist.

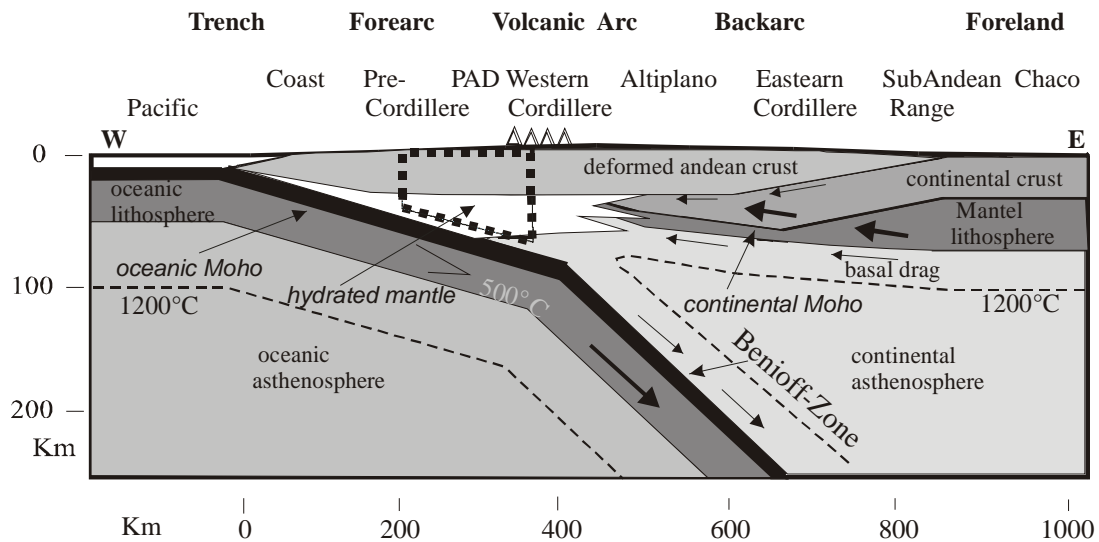


Abbildung 1.2

Skizze der heutigen Struktur des Konvergenzsystems der zentralen Anden (~23°S). Die gestrichelte Fläche im Bereich der Präkordillere und der präandinen Depression (PAD) entspricht ungefähr der Untersuchungszone zur krustalen Seismizität in der vorliegenden Arbeit.

Simplified profile of the present structure associated to the subduction system in the central Andes (~23°S). The dotted area under the pre-Cordillera and the pre-andean Depression (PAD) corresponds approximately to the zone where crustal seismicity will be investigated in the present study.

Die seismische Aktivität in den zentralen Anden ist durch die Beben dominiert, die entlang der Benioff-Fläche zwischen der abtauchenden Nazca-Platte und der südamerikanischen Platte auftreten. Eine zweite Gruppe von Beben tritt in Form von Intraplatten-Beben in der Oberplatte auf. Diese krustale Seismizität, die bislang wenig Beachtung fand, tritt überwiegend mit kleinen Magnituden (*kleiner als 3.0*) auf, und sie ist daher in den internationalen Katalogen unvollständig dokumentiert.

In den zentralen Anden liegen nach mehreren Jahrzehnten intensiver Forschung eine Fülle von seismologischen und seismischen Daten vor, welche die Bestimmung der Krusten-Struktur erlaubt. Im Andensegment zwischen 20°S und 26°S wurden bereits von 1982 bis 1989 von der Berliner DFG-Forscherguppe „Mobilität aktiver Kontinentalränder“ geologische und geophysikalische Untersuchungen durchgeführt, um eine bessere Kenntnis über die Struktur und den Stoffbestand der andinen Lithosphäre zu gewinnen. Aus den Arbeiten der Forschergruppe kristallisierte sich ein Modell der zentralandinen Deformationen heraus (Abb. 1.2). Als geophysikalische Methoden wurden dabei Refraktionsseismik, Gravimetrie und Magnetotellurik eingesetzt. Die Untersuchungen der Forschergruppe werden seit 1993 im geowissenschaftlichen Sonderforschungsbereich 267

„Deformationsprozesse in den Anden“ fortgesetzt. Geologische, petrologische und geophysikalische Methoden werden im Untersuchungsgebiet in Nordchile, Nordargentinien und Südbolivien miteinander kombiniert.

In den Jahren 1994 und 1995 wurden neue refraktionsseismische und seismologische Messungen zur detaillierten Untersuchung der Struktur der verdickten Kruste des magmatischen Bogens und seiner Nachbargebiete durchgeführt. So wurde im Frühjahr 1994 in Nord-Chile das kombinierte seismologische und seismische Feldexperiment PISCO '94 (*Proyecto de Investigación Sismológica de la Cordillera Occidental*), welches im Rahmen des Teilprojects C4 des SFB 267 stattfand, durchgeführt. Das passive seismologische PISCO-Experiment fand zwischen Ende Januar und Mitte Mai 1994 statt. Die Geometrie des seismologischen Stationsnetzes von PISCO '94 und die Einstellungen der Registersysteme waren in erster Linie auf die Aufzeichnung der lokalen Seismizität in der Benioff-Zone in der abtauchenden Nazca-Platte ausgerichtet. In Erweiterung dieser Aktivitäten wurden die Messkampagnen CINCA'95 (*Crustal Investigations off- and onshore Nazca Plate / Central Andes*), ANCORP'96 (*Andean Continental Research Project*) und PUNA'97 realisiert. Auf Basis dieser Daten wurden verschiedene Studien durchgeführt:

- Verteilung der Seismizität einschließlich der Magnitudenbestimmung und Herdflächenlösungen (*Rudloff, 1998; Herlitz, 1998*),
- Geschwindigkeitsstrukturen abgeleitet aus refraktionsseismischen Profilen (*Lessel, 1997*)
- Struktur der Lithosphäre abgeleitet aus tomographischen Untersuchungen der seismischen Geschwindigkeiten (*Graeber, 1997; Patzig, 2000*),
- Dämpfung (*Haberland, 1999; Schurr, 2001*).
- „*Study of converted Phases*“ (*Yuan et al., 2000*)

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Suche nach und Auswertung von krustalen Beben (*im Sinne von „Intra-Plate events“*) im Forearc aus den PISCO'94 Registrierungen in Bezug auf die Bestimmung der Hypozentren und Herdflächenmechanismen (*siehe gestrichelten umrandeten Bereich in Abb. 1.2*). Für das Verständnis der Geodynamik und der Rheologie der zentralen Anden, insbesondere im Gebiet der Präkordillere, der präandinen Depression und der Westkordillere ist die mögliche Existenz dieser Beben oberhalb der Benioff-Zone, also in der Oberplatte und somit in der kontinentalen Kruste von großer Bedeutung. Im Durchschnitt wurden im PISCO-Netz etwa 80-100 seismische Ereignisse pro Tag registriert. Davon liegen aber nur etwa 2% in der Oberplatte.

So ist es das Ziel der vorliegenden Arbeit, die krustale Seismizität in Bereich Nordchiles im Forearc (22°S-24°S) zu erfassen und folgende Fragestellungen zu bearbeiten:

- Über welchen Tiefenbereich erstreckt sich die Seismizität? Ist sie gleichmäßig über den gesamten Keil der Oberplatte verteilt oder konzentriert sie sich in bestimmten Zonen?
- Welche Magnituden haben diese Ereignisse? Sind hier stärkere Schadensbeben zu erwarten?
- Welche Herdflächenlösungen haben diese Beben?
- Welche Beziehungen hat die Verteilung der Seismizität zu geologischen Strukturen der Oberplatte.
- Welche Beziehungen bestehen zum Temperaturfeld in der Oberplatte? Welcher Bereich ist als rigid und welcher als duktil anzusehen?
- Beziehungen zu anderen seismologischen und geophysikalischen Parametern.