

# Kapitel 3

## Das ISSA 2000-Experiment

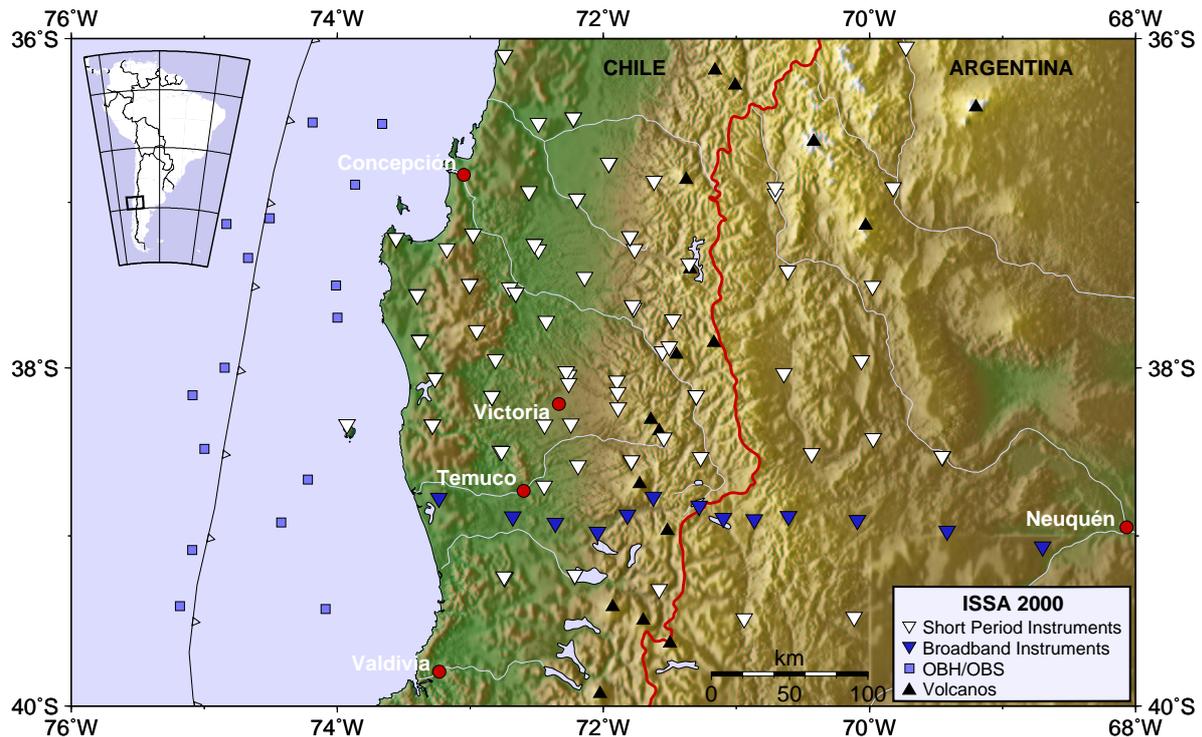
Das seismologische Experiment ISSA 2000 (*Integrated Seismological experiment in the Southern Andes*) fand im Rahmen des Sonderforschungsbereiches SFB 267 “Deformationsprozesse in den Anden” und in Zusammenarbeit mit den südamerikanischen Partneruniversitäten in Südchile und Argentinien statt. Es setzte sich aus den folgenden Teilprojekten zusammen:

- **seismologisches Netzwerk:** Von November 1999 bis April 2000 wurde ein seismologisches Netz betrieben, dessen Daten Seismizitätsuntersuchungen (*Bohm et al., 2002*), der lokalen Erdbebentomographie (vorliegende Arbeit) und der Momententensorinversion (*Bruhn, 2003*) dienten.
- **spengseismisches Profil:** Für die refraktionsseismischen Untersuchungen wurden die seismologischen Stationen jeweils eine Woche im Januar und im April 2000 entlang eines Profils bei 39°S installiert (*Lüth et al., 2003b, Bohm et al., 2002*).
- **Receiver Functions Profil:** Im Frühjahr 1999 wurden für Krusten-Mantel-Untersuchungen mittels der *Receiver Functions* Methode Breitbandstationen entlang eines Profils bei 39°S installiert und bis Sommer 2002 betrieben.

Die seismologischen Projekte wurden von einer Reihe anderer geophysikalischer, geologischer, petrologischer und geodätischer Studien begleitet (für genaue Informationen siehe SFB-Berichtsband von 2001).

### 3.1 Datengewinnung

Grundlage dieser Arbeit bildet das seismologische Teilprojekt, welches von der Freien Universität Berlin, dem GeoForschungsZentrum Potsdam und der Universität Potsdam in Kooperation



**Abbildung 3.1:** Stationskarte des ISSA 2000-Experimentes mit der regionalen Topographie (www.4). Die höchsten Erhebungen im Untersuchungsgebiet bilden die Vulkane (schwarze Dreiecke) mit  $\sim 3000$  m. Die Symbole erläutern die verwendeten Instrumententypen: weiße invertierte Dreiecke - kurz-periodische 3-Komponenten Seismometer; schwarze invertierte Dreiecke - 3-Komponenten Breitband-seismometer, graue Vierecke - OBH/OBS. Eine vollständige Stationsliste befindet sich im Anhang A. Die Feldzentrale war in Victoria untergebracht.

mit dem GEOMAR in Kiel, der Universidad de Concepción und der Universidad Católica del Norte in Antofagasta durchgeführt worden ist.

Aufgrund der langjährigen Arbeit des SFB in Südamerika und einer Reihe vorangegangener seismischer Experimente in den Zentralen Anden konnte auf einen großen Erfahrungsschatz zurückgegriffen werden, der sowohl auf wissenschaftlicher als auch auf logistischer Ebene zur Verfügung stand. Wesentliche Unterschiede zu den Experimenten im Norden, die sich extrem auf den Umfang und die Qualität der Daten auswirken, sind zum einen die geringere Seismizität im Süden und zum anderen das höhere seismische Rauschen aufgrund der dichteren Besiedlung, des feuchteren Klimas und der damit verbundenen stärkeren Vegetation Südchiles. Das seismologische Netz bestand aus 62 kontinuierlich registrierenden Stationen, die in einem Gebiet von ca.  $400 \times 400$  km in Chile und Argentinien installiert waren. Aufgrund der niedrigen Seismizität wurden bereits im November 1999 13 Stationen in Chile aufgebaut (siehe Tabelle 3.1). Desweiteren existierte zu diesem Zeitpunkt schon das mit Breitbandgeräten bestück-

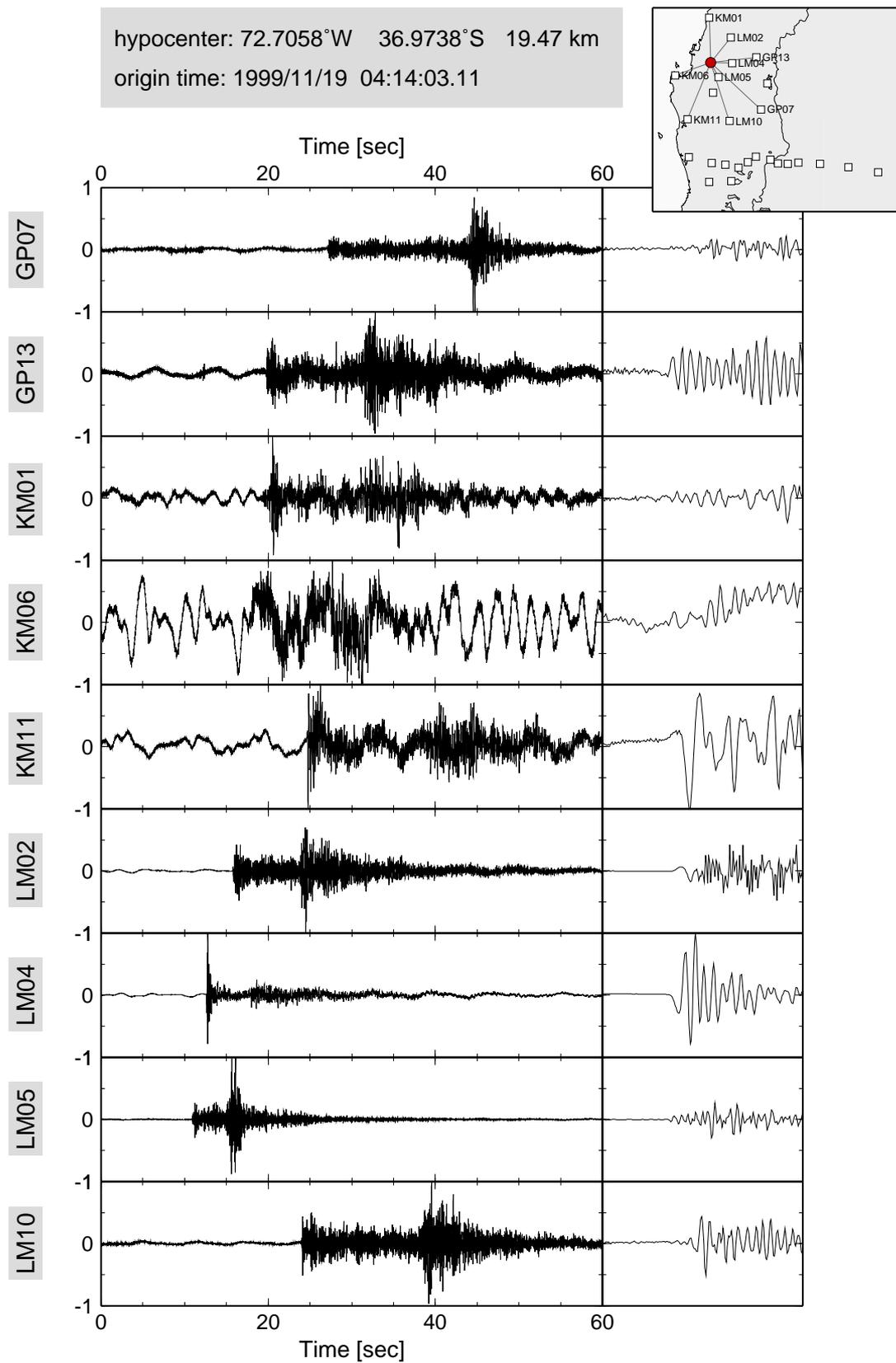
| <b>Seismologisches Netzwerk ISSA 2000</b> |   |  |
|---|---|--|
|   | <i>Teil 1</i>   | <i>Teil 2</i>  |
| <i>Laufzeit</i>                           | 15.11.1999 bis 15.01.2000<br>ca. 60 Tage                            | 28.01.2000 bis 10.04.2000<br>ca. 90 Tage   |
| <i>Gebiet</i>                             | 36° – 40°S und 70° – 74°W<br>ca. 400 km × 300 km<br>in Chile        | 36° – 40°S und 69° – 75°W<br>ca. 400 km × 400 km<br>in Chile und Argentinien                           |
| <i>Stationen</i>                          | 26  | 61   |
| <i>Stationsabstand</i>                    | ca. 100 km  | ca. 50 km  |
| <i>Datenlogger</i>                        | 13 × MARSlite,<br>13 × CMG-SAM                                      | 13 × MARSlite, 13 × CMG-SAM<br>34 × PDAS, 1 × ORION  |
| <i>Sensoren</i>                           | 13 × Lennartz LE-3D/5 s,<br>13 × Güralp CMG-3ESP                    | 13 × Lennartz LE-3D/5 s,<br>13 × Güralp CMG-3ESP,<br>35 × Mark L4-3D                                   |
| <i>Abtastrate</i>                         | 125 Hz (MARSlite),<br>100 Hz (SAM)                                  | 125 Hz (MARSlite),<br>100 Hz (andere Instrumente)  |
| <i>Registrierung</i>                      | kontinuierlich  | kontinuierlich   |
| <i>Zusatzausstattung</i>                  | 4 GB-Festplatten,<br>GPS (Synchronisation<br>alle 2 h), Solarpanele | 1 und 4 GB-Festplatten,<br>GPS (Synchronisation alle 2 h),<br>Solarpanele                              |
| <i>Personal</i>                           | 1 Feldgruppe  | 1 Zentralegruppe, 2–6 Feldgruppen  |
| <i>Betreuungszyklus</i>                   | Auf- und Abbau  | alle 8–10 Tage (PDAS, MARSlite<br>in Chile), alle 14 Tage (PDAS in<br>Argentinien), alle 20 Tage (SAM) |

**Tabelle 3.1:** Details zu Lage, Aufbau und Betrieb des seismologischen Netzwerkes ISSA 2000

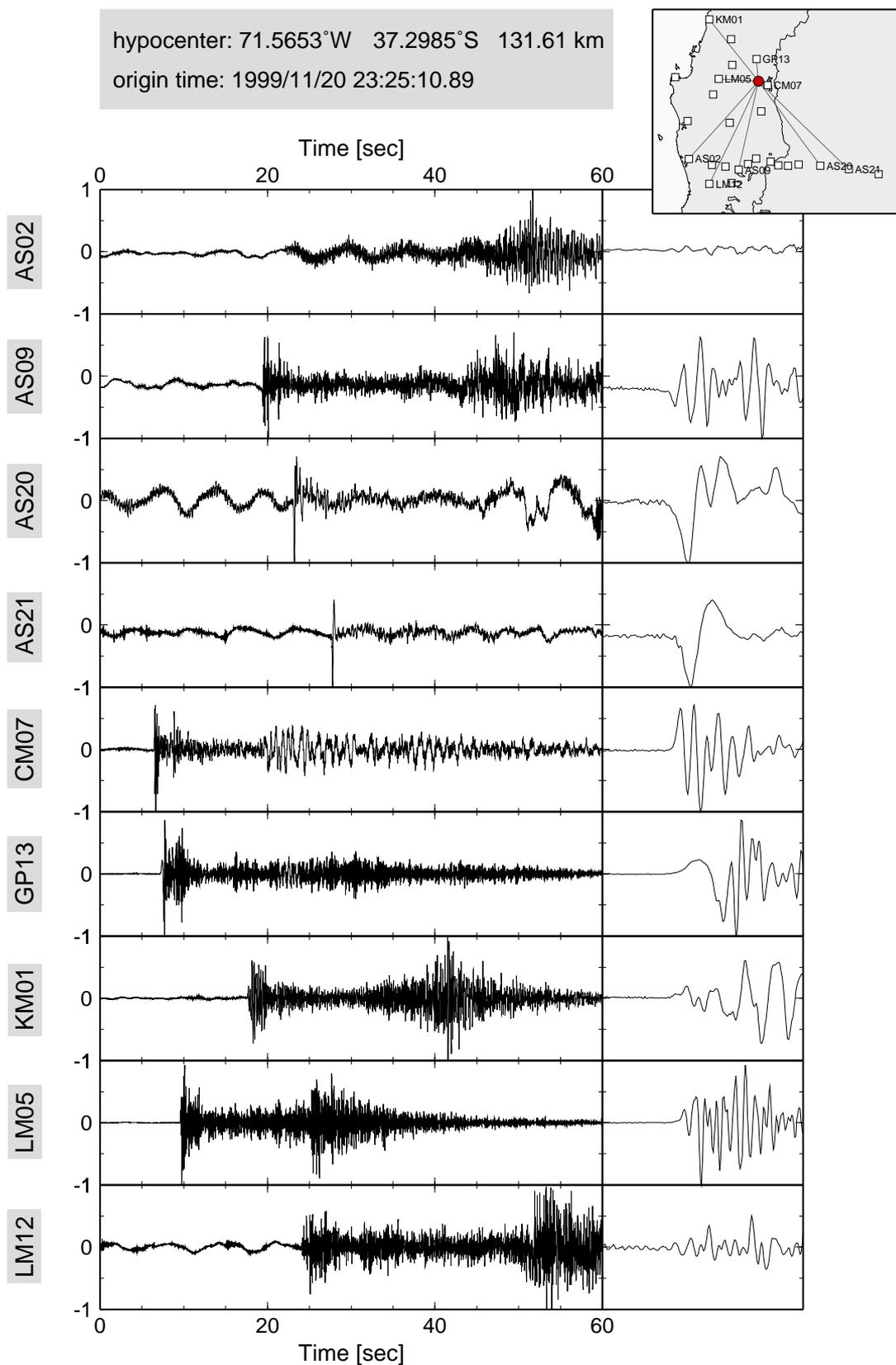
te Profil entlang 39°S. Somit wurde insgesamt über einen Zeitraum von ca. 150 Tagen die seismische Aktivität im Untersuchungsgebiet sowie die weltweite Seismizität aufgezeichnet. Zusätzlich wurden von Mitte Januar bis Mitte Februar 15 Ozeanbodenhydrophone (OBH) und 1 Ozeanbodenseismometer (OBS) vor der chilenischen Küste von Concepcion bis Valdivia ausgesetzt. Einen Überblick über die Verteilung der Stationen bietet die Abbildung 3.1. Die Namen und Koordinaten der Stationen befinden sich im Anhang A auf Seite 115.

## 3.2 Datenaufbereitung

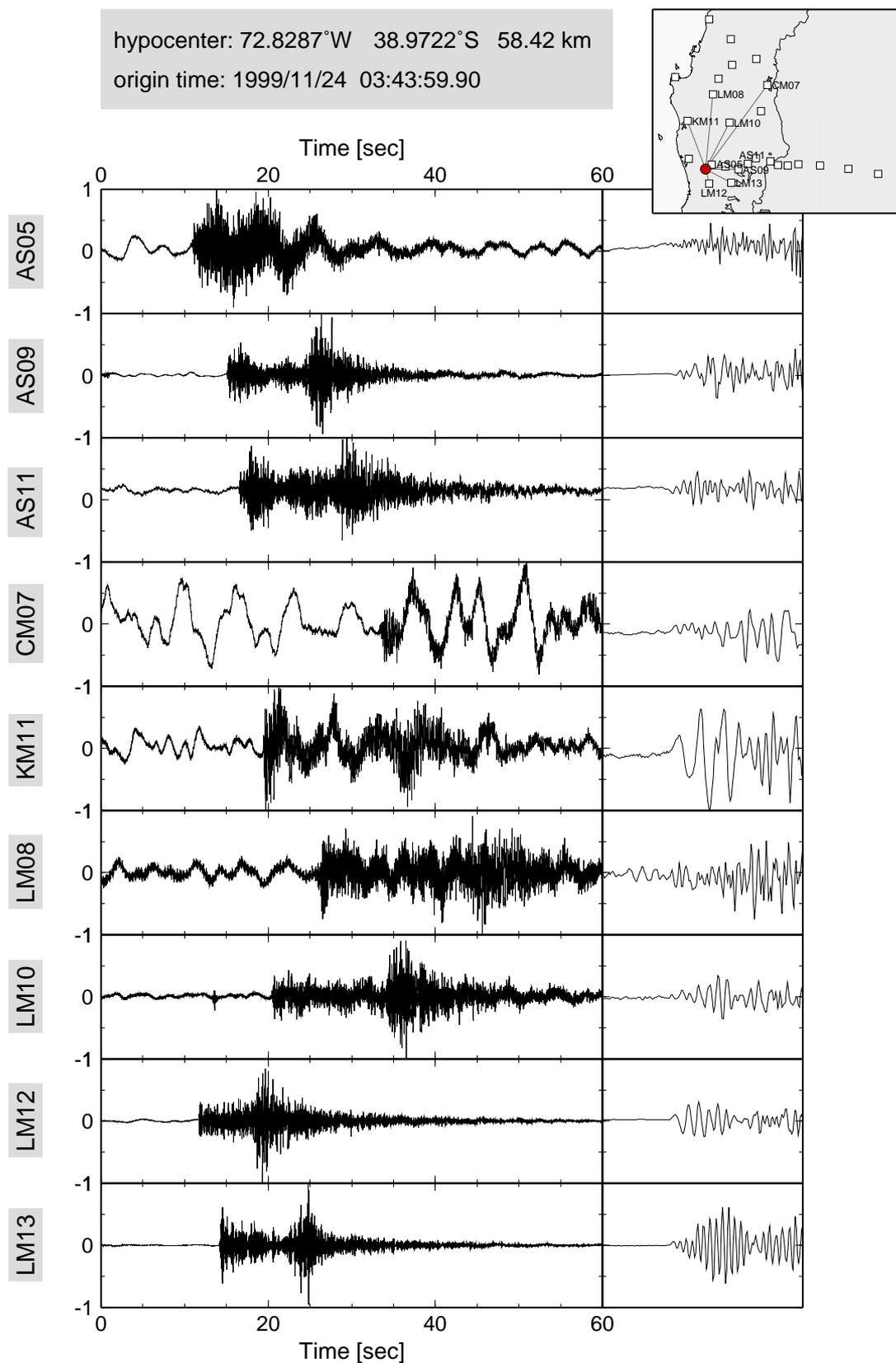
Die kontinuierlichen Datenströme wurden vor Ort in der Feldzentrale in Victoria eingelesen, einer Qualitätskontrolle unterzogen und auf DAT-Bändern gesichert. Für die endgültige Archivierung wurden die unterschiedlichen Datenformate in ein einheitliches mseed-Format umgewandelt und zeitlich sortiert in Form von Stundendateien auf CDROM abgelegt. Die Rohdatensmenge für den gesamten Zeitraum umfaßt ca. 350 GByte auf 493 CDs.



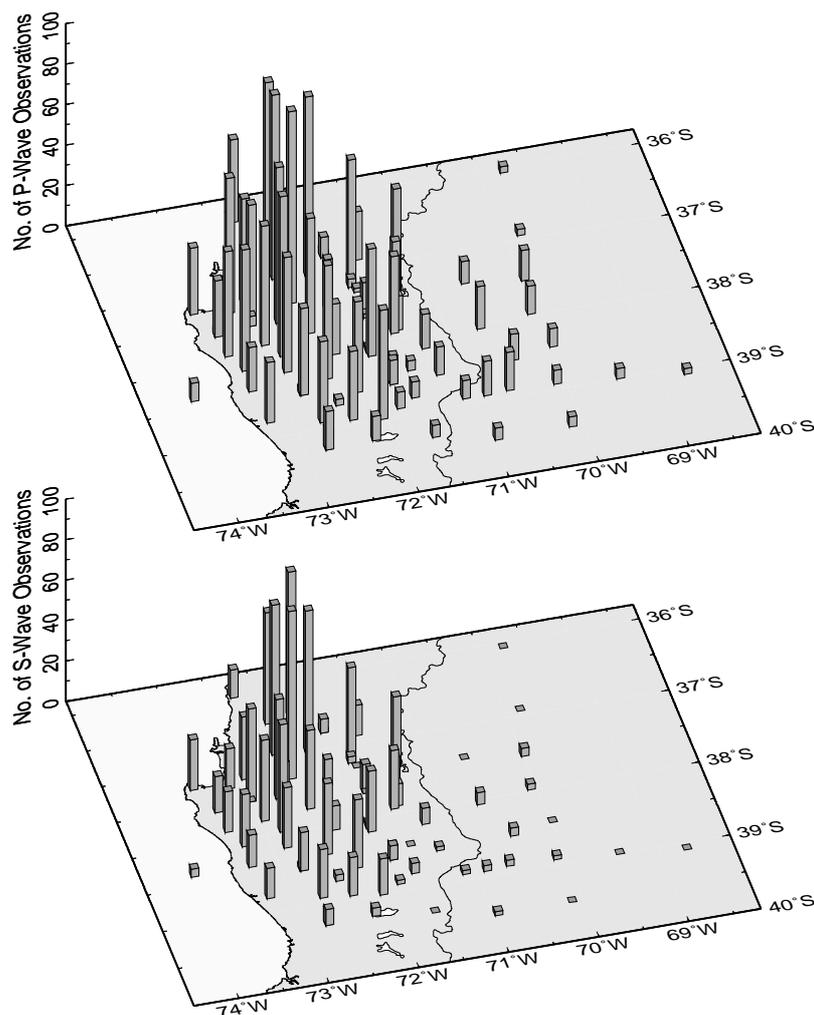
**Abbildung 3.2:** Datenbeispiel für ein flaches Beben an der Küste. Gezeigt sind die Rohdaten. Links die einminütige Zeitreihe, rechts der P-Wellen-Einsatz in einem 1,5 s Fenster.



**Abbildung 3.3:** Datenbeispiel für ein tiefes Beben im Norden. (Rohdaten, links - einminütige Zeitreihe, rechts - P-Wellen-Einsatz in einem 1,5s Fenster)



**Abbildung 3.4:** Datenbeispiel für ein mitteltiefes Beben im Süden. (Rohdaten, links - einminütige Zeitreihe, rechts - P-Wellen-Einsatz in einem 1,5 s Fenster)



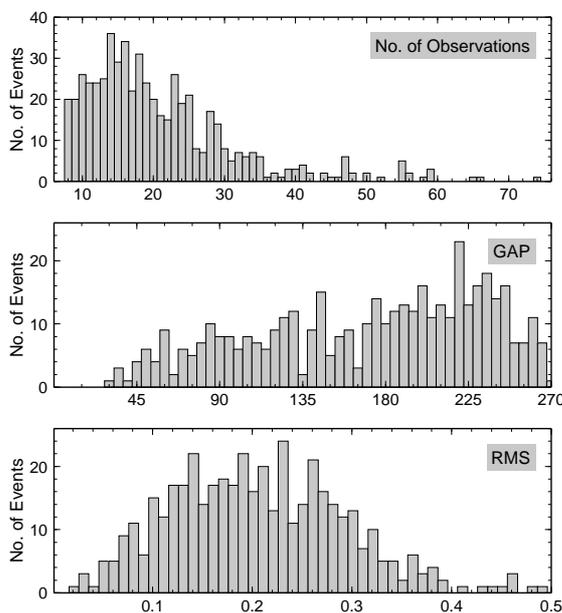
**Abbildung 3.5:** Anzahl der P- (oben) bzw. S-Wellen-Beobachtungen (unten) an den jeweiligen Stationen des ISSA-Netzes.

Nach der Rückkehr aus dem Gelände wurden die Daten am GFZ in Potsdam wiederum auf *DAT-Tapes* archiviert und stehen mittlerweile auch über das *GEOFON-Archiv online* zur Verfügung. Ein Teil der Daten (14 Tage) wurde von Beginn an interaktiv bearbeitet, um einen Überblick über die Qualität der Daten sowie Kriterien bezüglich der Sensitivität des später eingesetzten automatischen Triggers zu erhalten. Der in dieser Untersuchung angewendete Triggeralgorithmus basiert auf der Polarisations- und Kovarianzanalyse (Asch, 1998). Die Eigenvektoren der Kovarianzmatrix beschreiben die Richtung der Polarisation und über die Eigenwerte wird der P- bzw. S-Einsatz der seismischen Raumwelle bestimmt. Anschließend werden über entsprechende Koinzidenzkriterien Fehltriggerungen eliminiert.

Anhand der automatisch erstellten Ereignislisten wurden Zeitfenster mit einer Länge von 180 s ausgeschnitten und interaktiv am Bildschirm weiterbearbeitet. Zur Bestimmung der Ankunftszeiten der P- und S-Wellen wurde das auf dem Programm PITSA basierende Programmpa-

ket GIANT verwendet (*Rietbrock and Scherbaum, 1998*), wobei die automatisch gepickten P-Phasen manuell korrigiert wurden. Gleichzeitig wurde die Qualität der Picks gemäß der zeitlichen Schärfe des Ersteinsatzes gewichtet. Mit der implementierten Routine `HYP071` (*Lee and Lahr, 1975*) konnte eine vorläufige 1-D Lokalisierung durchgeführt werden. Alle Informationen bezüglich der Lokalisierung der Ereignisse und die zugehörigen Phaseninformationen wurden in einer Datenbank gespeichert. Die Festlegung der S-Phase ist im Allgemeinen schwierig und mit größeren Fehlern behaftet als der P-Ersteinsatz, da sie in der Koda der P-Wellen ankommen. Für eine präzise Tiefenbestimmung der Erdbeben sind sie jedoch unerlässlich und wurden, um die Genauigkeit des Einsatzes zu erhöhen, auf der Transversalkomponente im strahlenbasierten Koordinatensystem gepickt. Dadurch konnte auch vermieden werden, daß konvertierte Wellen als S-Einsatz interpretiert wurden. Weitere Phasen, wie z.B.  $P_n$ , die für die Erhöhung der Lokalisierungsgenauigkeit wichtig sind, konnten nicht identifiziert werden.

Gleichzeitig wurden den P-Phasen Polaritäten zugeordnet, mit denen, aufgrund der geringen Anzahl der Ersteinsätze mit zuverlässiger Erstausschlagbewegungsrichtung, leider keine eindeutigen Herdflächenlösungen bestimmt werden konnten. An dieser Stelle sei noch einmal auf *Bruhn (2003)* verwiesen. Er hat mittels Momententensorinversion für 10% der registrierten Beben Herdflächenlösungen berechnet.



**Abbildung 3.6:** Verteilung von Beobachtungsanzahl (oben), GAP (Mitte) und RMS (unten) der 440 Ereignisse. Die Angaben basieren auf der Verwendung des Minimum 1-D Geschwindigkeitsmodells (vgl. Kapitel 5).

Die Erdbeben wurden nach den folgenden Qualitätskriterien selektiert: Erstens sollte die minimale azimuthale Stationsüberdeckung mehr als  $90^\circ$  betragen (d.h.  $GAP^1 < 270^\circ$ ) und zweitens mehr als 8 Beobachtungen (mit mindestens 4 S-Phasen) aufweisen. Dieses Auswahlverfahren ergab einen vorläufigen Erdbebenkatalog mit 317 Ereignissen.

Im Laufe der Bearbeitung stellte sich heraus, daß durch die automatische Triggierung ein gewisser Prozentsatz der Erdbeben nicht erkannt wurde. Dabei handelt es sich hauptsächlich um Ereignisse mit kleiner Magnitude, die nur an wenigen Stationen registriert wurden. Aufgrund der geringen Seismizität im Untersuchungsgebiet ist jedes zur Verfügung stehende Er-

<sup>1</sup>Der GAP ist die größte azimuthale Beobachtungslücke.

eignis wichtig, wodurch eine zeitintensive visuelle Suche notwendig wurde. Diese Suche<sup>2</sup>, die sich hauptsächlich auf die Krustenbeben konzentrierte, erweiterte den Datensatz um 123 krus-tale Ereignisse, die insbesondere für das Studium der Spannungsverhältnisse und aktiven Ober-flächendeformation im *forearc* von Bedeutung sind (siehe u.a. *Melnick et al. (2003b)*, *Melnick et al. (2003a)*, *Echtler et al. (2003b)*).

Einige Angaben über die qualitativen Aspekte (NOB, GAP, RMS) der 440 lokalisierten Erd-beben finden sich in den Abbildungen 3.5 und 3.6. Der vollständige Erdbebenkatalog ist der Tabelle im Anhang B zu entnehmen. Der Inhalt der Abbildungen sowie der Erdbebenkatalog basieren auf den Lokalisierungen mit dem Minimum 1-D Modell (vgl. Kapitel 5).

Die Daten der OBH- und OBS-Stationen konnten aufgrund von Problem mit der zeitlichen Synchronisation leider nicht verwendet werden.

---

<sup>2</sup>Diese Aufgabe übernahm ab September 2002 für ein Jahr die Studentin Amerika Manzanarez.

