

35. Sitzung der AG Seismologie

Freudenstadt, 22. - 24. September 2009

Abstracts

Die Seismologie in der BGR nach der Umstrukturierung

Christian Bönemann

Die BGR hat die umfassendste Umstrukturierung in ihrer Geschichte vollzogen, die zum 1. Januar 2009 wirksam wurde. Die vier Fachabteilungen, die bislang im wesentlichen nach Methoden untergliedert waren, wurden völlig neu zusammengestellt und spiegeln jetzt die Themenfelder wider, in denen die BGR im Rahmen ihrer Aufgaben aktiv ist:

- B1 - Energierohstoffe, Mineralische Rohstoffe
- B2 - Grundwasser und Boden
- B3 - Unterirdischer Speicher- und Wirtschaftsraum
- B4 - Geowissenschaftliche Informationen, Internationale Zusammenarbeit

Unterhalb der Abteilungsebene wurde eine Hierarchieebene abgeschafft: An die Stelle von sieben Fachgruppen und 44 Referaten sind 17 Fachbereiche getreten. Neben einer deutlichen Verschlankeung bietet die neue Struktur eine erheblich größere Flexibilität, da innerhalb der Fachbereiche die Einrichtung von Arbeits- und Projektbereichen keine Umstrukturierung mehr erfordert und Mitarbeiterressourcen wesentlich flexibler zugeordnet werden können.

Die Seismologie ist aktuell in zwei Fachbereichen der Abteilung 4 angesiedelt. Der Fachbereich B4.3 (CTBT, Seismologisches Zentralobservatorium) hat drei Hauptaufgabenfelder:

1. Beratung der Bundesregierung bei Fragen der Verifikation des Kernwaffenteststoppvertrags (CTBT). Das Nationale Datenzentrum für alle Technologien zur Verifikation des CTBT (Seismologie, Infraschall, Hydroakustik und Radionuklide) ist ebenfalls in B4.3 angesiedelt.
2. Erdbebenbeobachtung zur Sicherstellung des deutschen Beitrages zur globalen Erdbebenbeobachtung und zur Auswertung der Seismizität in Deutschland und benachbarten Regionen.
3. Beratung von Ressorts und Wirtschaft zu Erdbeben und zu durch Bergbau, Geothermie und CO₂-Ablagerung im Untergrund induzierte Seismizität.

Innerhalb des Fachbereichs B4.4 (Gefährdungsanalysen, Fernerkundung) hat der Arbeitsbereich "Ingenieurseismologische Gefährdungsanalysen" vor allem die Aufgabe, Bundesregierung, EU, Behörden und Wirtschaft zu Erdbebengefährdung und zur dynamischen Beanspruchung von Untergrund und Bauwerken zu beraten. Dies umfasst auch die Mitarbeit in den entsprechenden Gremien und Arbeitskreisen.

A seismological study of shallow weak earthquakes in the urban area of Hamburg city, Germany, and its possible relation to salt dissolution

Torsten Dahm, Heimann Sebastian, Wilhelm Bialowons

In the night from 8/9 April 2009, shortly after midnight on Thursday before Easter, several people in Gross-Flottbek, Hamburg, felt unusual strong ground shocks so that some of them left their houses in fear of earthquake shaking. Police and Fire Brigade received phone calls of worried residents, and few days later Internet pages were published where people reported their observations. On 21 April 2009 at about 8 p.m. local time a second micro-earthquake was felt. Damage to buildings or infrastructure did not occur to our knowledge. The Institute of Geophysics, University of Hamburg, installed from 22 April to 17 May 2009 three temporal seismic stations in the epicentral area. Seismological data from two close-by stations at the Deutsches Elektron-Synchrotron (DESY) in about 1 km and the Geophysical Institute in about 7 km distance were collected and integrated to the temporal network.

The events occurred above the roof of the shallow Othmarschen Langenfelde salt diapir (OLD), in an area known for active sinkhole formation and previous historic ground shaking events. The analysis of the seismological data recovers that three shallow micro-earthquakes occurred from 8 to 21 April at a depth of about 100 m, the largest one with a moment magnitude of about $M_W = 0.6$. Depth location of such shallow events is difficult with standard methods, and is here constrained by waveform modeling of surface waves. Earthquakes occurring in soft sediments within the uppermost 100 m are a rare phenomena and cannot be explained by standard models. Rupture process in soft sediments differ from those on faults in more competent rock. We discuss the rupture and source mechanism of the earthquakes in the context of previous historic shocks and existing sinkhole and deformation data. Although the event was so weak, the rupture duration was unusual long and possibly 0.3 s.

Three possible models for the generation of repeated micro-earthquakes in Gross Flottbek are developed and discussed, implying quite different hazards for subsidence, ground motion and sinkhole formation. Our favored model postulates that roof failure occurs in an existing soil cavity beneath the epicenter at a depth of about 100 m. Other models bearing a smaller geohazard cannot be disproved with the data available, but future geophysical experiments may be planned to resolve this question.

Large scale intrusion, lateral magma reservoir growth and stress field changes at Lazufre volcano, Chile

Torsten Dahm, Thomas Walter

Collapsed calderas are the morphological and structural surface expression of magma reservoirs that emptied during large volcanic eruptions and may reach diameters of tens of kilometers. Abundant remnants of such collapse calderas can be found, e.g. along the South American volcanic arc; though often thought to be inactive nowadays. The geometric, temporal and dynamic development of large crustal magma reservoirs with scales of 30 or more kilometers, underlying collapse calderas, are poorly understood. New satellite radar interferometry (InSAR) studies, however, suggest that magmatic systems of such dimension may develop in a short time period without attracting much attention. In northern Chile, a 45 km wide elongated area of ground deformation is found at Lazufre, which is an area where no deformation was detected 10 years ago. This example allows for the first time to investigate the source geometry of a large-scale Andean magma reservoir at unprecedented detail, with the aim to understand how the large magma body may have accumulated within a few years only, and to investigate the effects and causes of the local and regional stress field. The principal investigators of this proposal have already conducted a two-months seismological field campaign in a Chilean-German collaboration, which now provides the data background to further elaborate the development, dimension and physics of this awakening volcano system.

The short presentations gives information on the project aims and the preliminary seismological results obtain so far.

Seismological investigations around Villarrica Volcano, Southern Chile – First Results

**Yvonne Dzierma, Martin Thorwart, Wolfgang Rabbel, Diana Comte,
Denis Legrand, Klaus Bataille, Paula Iglesia, Claudia Prezzi**

In addition to presenting a continental end-member of subduction zones, seismicity and volcanism in the Chilean subduction zone are influenced strongly by sediment input into the trench, oblique convergence and strain partitioning, and pre-Andean characteristics of the overriding plate. Furthermore, the occurrence of the largest instrumentally recorded earthquake, the Valdivia 1960 earthquake, close to the very active Villarrica volcano, makes this region ideally suited for subduction-related hazard investigations.

As a part of the SFB 574 “Volatiles and Fluids in Subduction Zones“, network of 55 seismological stations was installed in November 2008 between 39 deg and 40 deg South. The stations are distributed from the coast to the back-arc in Argentina, linking the volcano Villarrica with the area of maximum coseismic slip of the 1960 Valdivia earthquake. In April 2009, three additional stations were deployed on the flanks of Villarrica and Quetrupillan. Data recording will continue until October 2009. The data collected by this network will serve for seismicity, local and teleseismic tomography, receiver function and anisotropy studies.

This poster presents a data example and first results from the ongoing seismicity study. Two months of data recording have been picked and preliminarily localized so far. In that time 25 events were recorded inside the area covered by the network, rising to 77 events if the vicinity of the network is considered (100 km to either side). Although this region has been considered a seismic gap due to the scarcity of seismicity in comparison with adjacent segments along the Chilean subduction zone, the Wadati-Benioff-Zone is clearly traced by the events down to about 140 km depth, at an angle of about 35 degrees.

In addition to exploring the deep structure and geometry of the subduction zone, ongoing and future studies are expected to provide insight into the presence of fluids, fluid pathways, and the stress field. In combination with geochemical and volcanological studies also performed by the SFB 574, these investigations will contribute to a better understanding of subduction zone characteristics in a region of extreme coseismic stress, slab-arc fluid processes, volcano dynamics and hazards.

Fallstricke bei der Berechnung von Transferfunktionen für SEED-Daten mit EVALRESP von IRIS

Jörn Groos

Das Standard for the Exchange of Earthquake Data (SEED)-Format der Federation of Digital Seismographic Networks (FDSN) ist der internationale Standard zum Austausch seismologischer Daten. Gemeinsam mit den Zeitreihen werden zugehörige Meta-Daten, wie z.B. Stationname, Kanal und Koordinaten, zur Verfügung gestellt. Organisationen wie IRIS (Incorporated Research Institutions for Seismology) und das GFZ/Geofon nutzen das SEED-Format für ihre Datenzentren. Das SEED-Format bietet die Möglichkeit, die vollständige Transferfunktion eines Kanals zu spezifizieren. Neben der Instrumenten-Antwort des Sensors gehören dazu auch Bauteile wie analoge Anti-Alias-Filter und Verstärker sowie digitale Anti-Alias-Filter. Für den Umgang mit SEED-Daten werden von IRIS verschiedene Programme zur Verfügung gestellt. Das Programm rdseed erlaubt u.a. die Erstellung sogenannter SEED-RESP-Dateien, die die Spezifikationen der vollständigen Transferfunktion eines Kanals als ASCII-Text enthalten. Diese SEED-RESP-Dateien werden vom Programm EVALRESP (IRIS) verwendet, um die vollständige Transferfunktion des Kanals für beliebige Frequenzen zu berechnen. Das Programm EVALRESP kann von einigen Auswerteprogrammen wie z.B. SAC (Seismic Analysis Code) direkt verwendet werden, um Zeitreihen anhand ihrer SEED-RESP-Dateien zu restituieren.

Im Juli 2009 ist die Version 3.3.0 von EVALRESP erschienen. Für diese Version wurde die Berechnung der Transferfunktionen asymmetrischer FIR-Filter modifiziert. Bei älteren Versionen von EVALRESP war das Phasenspektrum der Transferfunktionen von asymmetrischen FIR-Filtern fehlerhaft, da die zu korrigierende Gruppenverzögerung nicht korrekt bestimmt wurde. Falls solche Transferfunktionen für die Restitution verwendet werden, treten Zeitverschiebungen der gesamten Zeitreihe bis zu einer Größenordnung von einer Sekunde auf. Um diesen Fehler zu vermeiden, verwendet die EVALRESP Version 3.3.0 die Information "corrected delay", die in den SEED-RESP-Dateien für jede FIR-Filter-Stufe gegeben ist. Dennoch können auch mit der neuen Version von EVALRESP Probleme bei der Berechnung von Transferfunktionen mit asymmetrischen FIR-Filtern auftreten. Ursache dafür sind Angaben zu den asymmetrischen FIR-Filtern, die bei manchen Stationen nicht den SEED-Konventionen entsprechen. Dazu gehören u.a. Filter- Koeffizienten in falscher Reihenfolge.

Hiller's Seismoskop

Klaus-G. Hinzen

Angeregt durch einen Kommentar von Walter Zürn (BFO) beim letztjährigen AG-Seismologietreffen haben ich mich mit den Eigenschaften des Hiller Seismoskops beschäftigt. Hiller, einer der Urväter der Seismometrie im Schwabenland, hatte eine Reihe von einfachen Seismoskopen bauen lassen und auf der Schwäbischen Alb platziert um Bodenbewegungen und Stoßrichtungen bei Erdbeben zu erfassen. Das Gerät besteht im Wesentlichen aus einem Fallstäbchen aus Stahl mit 2 mm Durchmesser und 120 mm Länge, das auf eine Glasplatte steht und einem Fangstern der mit "4 Bit Auflösung" (16-tel des Vollkreises, also 22.5 Grad) die Fallrichtung festhält.

Mit Hilfe eines 3D Diskrete Element Modells des Seismoskops wurden einige Basiseigenschaften untersucht. Angeregt durch gedämpfte harmonische Impulse wurde die Empfindlichkeit des Gerätes im Frequenzbereich von 0.1 bis 5 Hz untersucht und ermittelt ob und wie sich eine nicht perfekte horizontale Ausrichtung des Gerätes auswirkt. Alternativ wurden auch Fallstäbchen mit kleinerem und größerem Durchmesser untersucht.

Aus den Daten des Alsdorf Bebens (ML 4.0, 2002) aus dem Bensberger Stationsnetz wurden Verschiebungsseismogramme bestimmt, die als Anregung für das Seismoskop-Modell verwendet wurden. Die Fallrichtung korreliert (wenn überhaupt) mit der transversalen Komponente der Bodenbewegung. Für eine Herdflächenlösung aus P-Polaritäten hatte das Gerät hier keine brauchbaren Daten geliefert, als reiner Anzeiger einer Bodenbewegung funktioniert es aber gut. Da im Frequenzbereich zwischen 1 und 5 Hz der Wert der maximalen Schwinggeschwindigkeit bestimmt, ob das Stäbchen fällt oder nicht, könnte es als Indikator für das Einhalten der Anhaltswerte von Erschütterungsnormen verwendet werden.)

High-order Accurate Modelling of Seismic Waves for Realistic Applications

Martin Käser

We present the newest technical and organizational developments of the simulation software SeisSol to model seismic wave generation and propagation. The solution algorithm is based on a numerical scheme using the Discontinuous Galerkin Finite Element approach to solve the seismic wave equations in the velocity-stress formulation. The unique property of the numerical scheme is that it approximates the solution with arbitrary high-order accuracy in space and time due to a Cauchy-Kovalewski time integration method that replaces the higher-order time derivatives in the Taylor series expansion by higher order space derivatives. SeisSol can handle hexahedral and tetrahedral meshes suitable for geometrically complex computational domains. Furthermore, a variety of different material properties can be considered to calculate accurate synthetic seismograms for realistic wave propagation scenarios. The parallel code is running on High-Performance-Computing facilities within the DEISA supercomputing infrastructure and represents a revealing project for interdisciplinary collaboration between seismologists, geoscientists, and computer scientists. Due to the dramatic increase in the performance of massively parallel computer hardware an essential part of future work will be the intensive application of the method to challenging scenarios of seismic wave phenomena on different scales.

Combination of rotation and translation measurements for structural inversion

Dieter Kurrle, Andreas Fichtner, Moritz Bernauer, Joachim Wassermann, Ulrich Schreiber, Heiner Igel

During the past decade, interest in the measurement and analysis of seismic rotations has steadily increased (e.g., Lee et al., 2009). While it was long known that for a comprehensive understanding of ground motions it is necessary to measure - besides three components of translations and six components of strains - three components of rotations, a lack of suitable instruments with sufficient sensitivity prevented their investigation. Only the development of large, high-sensitivity ring lasers made it possible to measure rotational ground motions induced by teleseismic earthquakes (e.g., Schreiber et al., 2006). With such instruments it is now possible to observe rotational ground motions induced by seismic events stronger than magnitude 6 over a wide range of epicentral distances. One possible application of rotation measurements is structural inversion based on collocated recordings from seismometers and rotation sensors. Under the assumption of plane waves, the ratio between translations and rotations is directly proportional to shear wave velocity. We investigate two methods to estimate shear wave velocities from amplitude ratios:

1. Estimation of Love wave dispersion curves using seismograms of transverse horizontal acceleration and rotation rate around a vertical axis recorded at Wettzell (WET).
2. Seismic tomography based on apparent shear wave speed which is defined as the ratio of ground velocity and rotation amplitudes (Fichtner and Igel, 2009; Bernauer et al, 2009).

The first approach shows that in principle it is possible to recover general dispersion characteristics. However, it turns out that besides seismic noise, the contribution of overtones limits the accuracy that can be achieved for the dispersion curves. This might be overcome by the second approach which makes use of the full waveforms. We present results of synthetic inversions showing the potential of this method.

References:

- Moritz Bernauer, Andreas Fichtner and Heiner Igel (2009), Inferring Earth structure from combined measurements of rotational and translational ground motions, accepted for publication in *Geophysics*.
- Andreas Fichtner and Heiner Igel (2009), Sensitivity Densities for Rotational Ground-Motion Measurements, *Bull. Seis. Soc. Am.*, 99(2B), 1302-1314.
- William H. K. Lee, M. Emre Celebi, Maria I. Todorovska and Heiner Igel (2009), Introduction to the Special Issue on Rotational Seismology and Engineering Applications, *Bull. Seis. Soc. Am.*, 99(2B), 945-957.
- Ulrich Schreiber, Geoff Stedman, Heiner Igel and Asher Flaws (2006), Ring Laser Gyroscopes as Rotation Sensors for Seismic Wave Studies, in *Earthquake Source Asymmetry, Structural Media and Rotation Effects*, edited by R. Teisseyre et al., Springer Verlag, Heidelberg, Germany.

Automatische Bestimmung von P- und S-Wellen-Ankunftszeiten

Ludger Küperkoch, Thomas Meier, Wolfgang Friederich

Der automatischen Lokalisierung seismischer Ereignisse kommt aufgrund der stetig wachsenden Menge digitaler, seismologischer Daten eine immer größere Bedeutung zu. Hauptschwierigkeit dabei ist die automatische Identifizierung und Erfassung der Ankunftszeiten von P- bzw. S-Wellen. Hier präsentieren wir Algorithmen basierend auf Statistiken höherer Ordnung und autoregressiver Vorhersage der Wellenform zur Erfassung der P- bzw. S-Einsätze.

Bei der automatischen Bestimmung des P-Ersteinsatzes wird mit Hilfe des zentralen statistischen Moments 4. Ordnung zunächst eine charakteristische Funktion erstellt, auf die der eigentliche "Picker" angewendet wird. Zur Bestimmung des S-Einsatzes ergibt sich die charakteristische Funktion aus den Vorhersagefehlern der Wellenformen beider Horizontalkomponenten. Hier kommen autoregressive Vorhersage als auch das Akaike Informationskriterium zur Anwendung. Von maßgeblicher Bedeutung ist die automatische Abschätzung der Qualität der Ersteinsätze. Zur Erkennung falsch gesetzter Ankunftszeiten wurden verschiedene Algorithmen entwickelt, die sowohl bei der Einzelstationsauswertung als auch bei der abschließenden Mehrfachstationsauswertung zum Einsatz kommen.

Die Zuverlässigkeit und die Genauigkeit der Automatik wurde an einem sehr heterogenen Datensatz des temporären, regionalen EGELADOS-Netzwerks an Hand manuell erfaßter Einsätze, die als Referenzpicks dienen, als auch durch einen direkten Vergleich mit dem Allen-, dem Baer- & Kradolfer und dem Sleeman- & van Eck-Picker (AR-AIC) getestet. Die Genauigkeit als auch die Geschwindigkeit der präsentierten Automatik machen diese zu einer Option für den Einsatz in einer echtzeitnahen Auswertung, z.B. in einem Erdbebenfrühwarnsystem.

Large-scale shear wave velocity structure of the upper mantle beneath Europe and surrounding regions

Cedric Legendre, Sergei Lebedev, Thomas Meier, Wolfgang Friederich

The automated multimode waveform inversion technique developed by Lebedev et al. (2005) was applied to available data of broadband stations in Europe and surrounding regions. It performs a fitting of the complete waveform starting from the S-wave onset to the surface wave. Assuming the location and focal mechanism of a considered earthquake as known, the first basic step is to consider each available seismogram separately and to find the 1D-model that can explain the filtered seismogram best. In a second step, each 1D-model serves as a linear constraint in an inversion for a 3D S-wave velocity model of the upper mantle.

We collected data for the years from 1990 to 2006 from all permanent stations for which data were available via the data centers of ORFEUS, GEOFON and IRIS, and from others that build the Virtual European Seismological Network (VEBSN). In addition, we incorporated data from temporary experiments like SVEKALAPKO, TOR and the Eifel plume project as well as permanent stations in France. Just recently we were also able to add the data recorded by the temporary broadband EGELADOS network in the southern Aegean. In this way, a huge data set of about 500000 seismograms came about from which about 60000 1D-models could be constructed.

The resulting models exhibit an overwhelming structural detail in relation to the size of the region considered in the inversion. They are to our knowledge the most detailed models of shear wave velocity currently available for the European upper mantle and surroundings. Most prominent features are an extremely sharp demarcation of the East European platform from Western Europe. Narrow high velocity regions follow the Hellenic arc and the Ionian trench toward the north. Whereas high velocities are found beneath the western Alps between about 100 km to 200 km depth, the eastern Alps show a low velocity anomaly at these depths. Low velocity zones are found at depths around 150 km in the Pannonian basin, the back-arc of the Hellenic subduction zone, and the Middle East. The hotspots in North Africa are as clearly imaged as the high-velocity cratonic regions in Africa.

Kinematic earthquake source parameter inversion applied to intermediate and deep earthquakes – Preliminary results for the Mw 7.0 28th November, 2004 Japan earthquake

Nicole Müller, Simone Cesca, Torsten Dahm, Sebastian Heimann

One of the main intentions of Seismology is the definition and the determination of rupture models by using inversion methods with the aim of a better understanding of the rupture process and the seismotectonic setting. A set of source inversion algorithms have been recently developed within KINHERD DFG (Bündelantrag Breitbandseismologie) and RAPID BMBF/DFG (Programm Geotechnologien) projects at the University of Hamburg. Their essential part is the Eikonal source model and a three step inversion method which includes point source parameter inversion as well as inversion for extended source parameters. The first inversion step is carried out in the frequency domain to derive the focal mechanism. Step two provides the centroid location and is done in the time domain. Both of them are based on point source approximation, fitting low frequency seismograms and spectra. The last step achieves the kinematic modelling of the rupture process. This kinematic inversion is performed in the frequency domain including higher frequencies. The implemented inversion routines were successfully tested for local, regional and teleseismic events. In ambition to achieve a more detailed rupture model the focus of the study is set on intermediate and deep earthquakes as their waveforms are less affected by the shallow crustal structure. Bodywave phases are fitted since they can successfully be used to improve the earthquake rupture process modelling. The rupture geometry within the 3D seismogenic region can be constrained by the main features of the local velocity structure, such as the slab geometry. This represents a completely new attempt to describe a rupture model. Japan was chosen as a reasonable test area because of a clear pattern of intermediate and deep earthquakes which represent the slab geometry. The high seismicity rate and the good data coverage are also beneficial. Preliminary results will be shown for the Mw 7.0 28th November, 2004 earthquake. This example will give a forecast to further application which will focus on about 30 earthquakes with magnitudes $M_w > 5.5$ and depths in the range of 50-150km that occurred within the last 10 years in the study area.

Bestimmung des V_p - V_s -Verhältnisses für die dreidimensionale Struktur der Lithosphäre in Deutschland und angrenzenden Gebieten unter Berücksichtigung eines anisotropen oberen Mantels

Thomas Muench

Beginnend mit den grundlegenden refraktionsseismischen Studien von Bamford (1973) und Fuchs (1977) über das anisotrope Verhalten der Pn-Geschwindigkeiten. unterhalb Deutschlands wurden seither zahlreiche seismische Untersuchungen durchgeführt, die weitere Anzeichen dafür lieferten, dass weite Teile des oberen Mantels unterhalb Europas und Deutschlands anisotrop sind. Tatsächlich zeigte Schlittenhardt (1999) zum ersten Mal anhand der Laufzeiten regionaler Erdbeben, dass die entsprechenden Pn-Residuen eine azimutale Abhängigkeit zeigen, die mit der vermuteten Anisotropie in dem Gebiet übereinstimmt. Dieses Phänomen wurde durch eine 1D Time-Term Analyse (Song et al., 2001) und eine 2D anisotrope Pn Inversion (Song et al., 2001) von 2000 regionalen Pn-Laufzeitresiduen von ungefähr 220 Beben aus dem "Data Catalogue of Earthquakes in Germany and Adjacent Areas" (Henger und Leydecker, 1975, ff) weiter untersucht. In der ersten der beiden Studien zeigten die Autoren, dass eine Anisotropie-Ellipse mit der schnellen Achse in Richtung um N25E und einem Anisotropielevel von ca. 3.5 % die Datenvarianz erkennbar reduziert. Die zweite der Studien zeigt, dass geologisch aussagekräftige Pn-Geschwindigkeitsänderungen des oberen Mantels nur unter Berücksichtigung der Pn-Anisotropie im Inversionsprozess gewonnen werden können.

Weitere Details über die 3D-Struktur unter Berücksichtigung der Anisotropie im oberen Mantel kann jedoch nur eine komplette 3D-SSH-Inversion liefern. Dazu wird eine erweiterte Version der Methode der simultanen Inversion für Struktur und Hypozentren (SSH) von Koch (1993) verwendet, um die Analyse von Song et al. (2001, 2004) zu einer vollständigen simultanen Inversion für die dreidimensionale Struktur der Kruste und des oberen Mantels und regionaler Hypozentren unterhalb Deutschlands zu ergänzen. Dabei wird die oben genannte Anisotropie der Pn-Laufzeiten in Form einer elliptischen Korrektur berücksichtigt.

Zu den Inversionen nur mit P-Phasen werden zusätzlich noch Inversionsrechnungen mit nur S-Phasen durchgeführt, ebenfalls mit und ohne Berücksichtigung der Anisotropie, allerdings nur für Modelle mit einer Blockdiskretisierung von 15 mal 15 pro Schicht aufgrund der geringeren Anzahl von aufgezeichneten S-Phasen. Hierbei zeigt sich, dass ein Einfluss der Anisotropie bei den S-Phasen weniger gut zu identifizieren ist was vermutlich an der fehlenden Unterscheidung zwischen SV- und SH-Komponenten liegt. Diese fehlende Unterscheidung führt zu einem größeren Bereich der aufgezeichneten Residuen in dem die eventuell vorhandenen Anisotropie versteckt ist. Aus dem Vergleich der Ergebnisse für die P- und die S-Welleninversion wird das V_p - V_s -Verhältnis abgeleitet, die zwischen 1.67 und 1.72 liegen. Dabei zeigt sich, dass das resultierende V_p - V_s -Model gut übereinstimmt mit dem Ergebnis von Lombardi et al. (2008), die Verhältnisse von 1.72 unter dem Schwarzwald und 1.74 entlang der Donau über eine Receiver-Function-Analyse von seismischen Phasen teleseismischer Ereignisse erhielten.

Seafloor compliance measurements from Mid Atlantic Ridge

Celia Rios, Torsten Dahm

Seafloor compliance is the transfer function between vertical displacement and pressure at the seafloor. Infragravity waves in the oceanic layer have long periods in the range of 30 – 500 s and obey a simple frequency-wavenumber relation. Thus, seafloor compliance from infragravity waves can be analyzed with single broadband station recordings to invert sub-seafloor shear wave velocities. Previous studies in the Atlantic and Pacific Ocean have demonstrated that reliable near-surface shear wave profiles can be derived from infragravity wave compliance.

Broadband ocean bottom instruments for seafloor compliance have been built using a triaxial seismometer STS-2 “low power” adapted to work on seafloor, a differential pressure gauge (DPG), an absolute pressure sensor (OAS), and two Geolon - MLS recorders. The stations have been successfully deployed several times in the Mid Atlantic Ridge and the Azores Island.

Power spectral densities from vertical velocity data and pressure were calculated using data recorded at the Logatchev Field in the Mid Atlantic. The spectrum show a dominant peak at low frequencies (0.02 Hz) limited by the expected cut-off frequency, which is dependent on the water depth of the station. The peak has been interpreted as a strong infragravity wave. Compliance estimations take into account the coherence between seismic and pressure signals focusing in seismic signals caused by pressure sources. Shear wave velocities models, with depth resolution from about 200 to 2500 m for the deep water stations, were derived from compliance. Preliminary results indicate increasing shear wave velocities between about 200 and 3500 m/s.

Aktuelle Arbeiten mit dem KARlsruher BreitBand Array (KABBA)

**Joachim Ritter, Jörn Groos, Werner Scherer, Petra Knopf, Friedemann
Wenzel**

Instrumentelle Angelegenheiten:

1. KABBA besteht derzeit aus 35 Stationen mit 23 STS-2, 6 Geotech KS2000, 3 Güralp 40T und 3 Lennartz 5s Seismometern. Im letzten Jahr wurden umfangreiche Tests zur fast Echtzeit-Datenübertragung ($dt < 1-2$ s) durchgeführt. Als Lösung wurde ein Arctic Router von Viola Systems gewählt, welcher die Daten sowohl über GSM-EDGE als auch UMTS im Mobilfunknetz überträgt. Die Daten werden über ein Machine-to-Machine (M2M) Gateway in Karlsruhe empfangen und mit SeisComP weiterverarbeitet.
2. Die Beibehaltung der Nulllage des STS-2 erwies sich bei Feldeinsätzen teilweise problematisch. Daher wurde eine automatische Zentriervorrichtung entwickelt, welche ab einer vorgegebenen andauernden Abweich-Spannung eine Zentrierung auslöst.
3. Die Karlsruher KS2000 Seismometer haben keine Motoren, welche die Seismometermassen zentrieren. Die Zentrierung erfolgt ab Werk über eine Hammerkopf-Schlitzschraube, die vom Schraubendreher durch einen Strohhalm hindurch getroffen werden muss. Dieses Zentrier-Verfahren hat sich bei Feldeinsätzen als ungeeignet erwiesen. Deshalb wurden die Schlitzschrauben durch konusförmige Inbusschrauben mit einem feineren Gewinde ersetzt. Die Nulllage der KS2000 kann nun erheblich einfacher und präziser eingestellt werden.
4. Alle Instrumente von KABBA wurden von Dezember 2008 bis März 2009 einem "huddle test" unterzogen. Hierbei registrierten die Stationen im Keller des GPI KA parallel. Dieser Test diente der Instrumenten-Überprüfung, um Defekte zu finden, bzw. Unterschiede oder Variationen in der Amplitudenübertragung zu bestimmen.

Experimente:

1. Von Sept. 2006 bis Juni 2008 waren die KABBA Stationen in Südnorwegen im Rahmen des MAGNUS Experiments im Einsatz, um die tiefen Ursachen für die Bildung des Südkandinavischen Gebirges zu bestimmen (siehe auch Beitrag von Wawerzinek et al.).
2. Von Mai 2008 bis Mai 2009 wurden vier Stationen im online Betrieb im Rahmen des METSEIS Projektes (Correlation of Meteorological and Seismological Parameters) eingesetzt.
3. Seit Mai 2009 werden 8 Stationen im Bereich der Stadt Staufen i. Br. betrieben, um Mikroseismizität und Fernbeben zu messen.
4. Im Sommer 2009 wurde in der Südpfalz ein Netzwerk aus 6 Stationen aufgebaut, um Mikroseismizität und Fernbeben zu messen. Mit diesem Netzwerk wurden in Entfernungen von ca. 1 km bis 7 km die Wellen des Landau Erdbebens (ML 2.7) vom 15. Aug. 2009 registriert.

Der Deutsche Geräte-Pool für amphibische Seismologie (DEPAS): Möglichkeiten und Grenzen der Ozeanboden-Seismometer

**Mechita Schmidt-Aursch, Wolfram Geißler, Christian Feld, Thomas
Kalberg**

Der "Deutsche Geräte-Pool für amphibische Seismologie (DEPAS)" ist ein Pool breitbandiger Seismometer für Langzeiteinsätze an Land und auf dem Meeresboden. Für marine Experimente stehen 80 Ozeanboden-Seismometer (OBS) zur Verfügung, welche technisch und organisatorisch vom Alfred-Wegener-Institut Bremerhaven (AWI) betreut werden. Die Vergabe der Geräte erfolgt durch einen externen Lenkungsausschuss. In diesem Beitrag werden Datenbeispiele aus zwei internationalen Projekten vorgestellt und die Möglichkeiten bzw. die Grenzen des Einsatzes von OBS gezeigt.

Im Rahmen des Internationalen Polarjahres 2007/2008 wurde in der Norwegen-Grönlandsee südlich von Svalbard zwischen dem Knipovich Rücken und der Bäreninsel ein Jahr lang ein Netzwerk aus 12 Breitband-OBS betrieben. Es wurden neben den lokalen Erdbeben am Rücken auch teleseismische Beben registriert und mit Receiver Funktionen ausgewertet. Die unbekannte Orientierung des OBS am Meeresboden, schwache Ankopplung und starkes Rauschen lassen diese Methode allerdings an ihre Grenzen stoßen.

Ein zweites Beispiel zeigt Daten aus dem Golf von Cadiz, wo im Rahmen eines EU-Projektes zur Tsunamiproblematik 24 Geräte ein Jahr lang ausgelegt wurden. Auch hier wurden sowohl teleseismische Beben ausgewertet, als auch die lokale Seismizität untersucht. Letzteres war in diesem Umfang nur durch den Einsatz der OBS vor Ort möglich. Außerdem konnten auch Gesänge von Walen in den Registrierungen von Seismometern und Hydrophonen identifiziert werden.

Die Registrierungen der breitbandigen Ozeanboden-Seismometer weisen zum Großteil eine gute Qualität auf. Sie werden aufgrund der technischen Gegebenheiten nie mit gut installierten Landstationen vergleichbar sein, bieten aber vielversprechende Möglichkeiten in Regionen Daten zu gewinnen, die seismologisch gesehen bisher noch weitgehend unbekannt sind. Insbesondere zusammen mit den DEPAS Landstationen, welche vom GFZ Potsdam betreut werden, bieten sich großräumige amphibische Experimente an.

The temporary small aperture Bear Island array (BJOA)

Johannes Schweitzer, Frank Krüger, Tormod Kvaerna, IPY Project Consortium

During the IPY project The IPY Project The Dynamic Continental Margin Between the Mid-Atlantic-Ridge System (Mohns Ridge, Knipovich Ridge) and the Bear Island Region a temporary small aperture array of 13 mobile MARSlite stations from the University of Potsdam was installed on Bear Island, a ca. 20x20 km large island located approximately half the distance between the northern tip of Europe and the Svalbard Archipelago. The array was running for about four months from the end of May until the end of September 2008. One of the scientific questions was how such an installation would change and improve the seismic monitoring capabilities of the Northern Europe network of seismic arrays in this quite remote area with closely located seismic active mid-Atlantic ridges and continental margin. We included the results of the BJOA data analysis in NORSARs fully automated seismic event location package for seismic arrays, the Generalized Beam Forming (GBF) method. The results of this test clearly show the advantage to operate an additional array located on Bear Island. Not only a larger amount of events could be identified and located but also a large amount of events could be located with larger confidence by additional information from BJOA.

Magnitude distribution of seismicity induced during hydraulic stimulation of rocks

Serge Shapiro, Carsten Dinske

Fluid injections in geothermal systems usually induce small earthquakes ($-3 < M < 2$). Occasionally, however, earthquakes with larger magnitudes occur. However, in the case of hydraulic fracturing of hydrocarbon reservoirs significant events occur never or extremely seldom. In the last case, in contrast to the former one, the structure of rocks is being actively destroyed and the fluid-rock interaction is strongly non-linear. What is the role of this non-linearity? Shapiro et al. (2007) described magnitude distribution in the case of linear pressure diffusion and constant injection rate. In this work, we attempt to further generalise this model. We extend it to a very general type of the injection source. The process of fluid-rock interaction can be strongly non-linear in the sense of a strong impact of the fluid injection on rock permeabilities. Such situations like a hydraulic fracturing or a shear-caused dilatational permeability enhancement are taken into account. We compare our theoretical results with various case studies from geothermal and hydrocarbon reservoirs.

We show that under rather general conditions a probability of an event with a magnitude larger than a given one increases proportionally to the injected fluid mass. This rule seems to hold independently of the non-linearity of the fluid-rock interaction. We find that the process of (in generally non-linear) pore-pressure diffusion in a poroelastic medium with randomly distributed sub-critical cracks obeying a Gutenberg-Richter relation well explains our observations. The magnitude distribution is mainly inherited from the statistics of pre-existing fracture systems. Our observations support the hypothesis that the magnitude probability of a single given event is independent of the event number. The number of earthquakes with magnitudes greater than a given one also increases with the strength of the injection source and the tectonic activity of the injection site.

We have also introduced a quantity, seismogenic index, helping to characterize the level of seismic activity corresponding to fluid injections into rock. Our formulation provides a way to estimate expected magnitudes of induced earthquakes. It can be used to avoid significant earthquakes by correspondingly planning fluid injections.

References:

Shapiro, S. A., C. Dinske, and J. Kummerow (2007), Probability of a given magnitude earthquake induced by a fluid injection, *Geophysical Research Letters*, 34, L22,314, doi:10.1029/2007GL031,615.

Tomographic 3D images under Yellowstone – lots of slab, where is the plume?

Karin Sigloch, Guust Nolet

We explore mantle anomalies down to about 1800 km depth in the vicinity of the Yellowstone hotspot, North America. Due to the time progression and geo-chemistry of its hotspot track, and the consistent timing of a nearby flood basalt province, Yellowstone is commonly assumed to be fed by a deep mantle plume. However, Yellowstone's location inside a continental interior contrasts with that of almost all other presumed plumes at present time. In an additional twist, plate tectonic reconstructions predict that a vertical plume conduit should be intercepted somehow by the subducting Farallon (Juan de Fuca) plate. Seismic tomography should be able to provide direct observations, but the combination of strong lithospheric heterogeneity, a narrow lower-mantle plume conduit, and the presence of a slab obviously present a challenge.

Seismic illumination of the area improved vastly with the deployment of the USArray experiment since 2005. In our recent finite-frequency P-wave tomography model (Sigloch et al. 2008), fast structure stood out most prominently from the start, especially in the lower mantle, where slow anomalies are virtually absent beneath 1000 km depth under the western and central U.S.A. These fast anomalies represent the multiply fractured Farallon slab, a complicated but consistent 3D geometry that prompted us to seriously pursue 3D visualization techniques. Most recently, we have extended this exploration to the Yellowstone "plume" and to resolution capabilities of our experiment in the area.

We image an extremely slow and almost 350 km deep asthenosphere beneath the hotspot, which is contained from below by the fast Farallon slab. Just North of Yellowstone, the asthenosphere shallows very suddenly, and the slab is also offset to shallower depths as a consequence of a slab tear. We robustly image a mid-mantle anomaly at 500-1000 km beneath Yellowstone, but we see only the faintest of connections up to the surface – a plume conduit or a smearing artefact? Moreover, we image no slow anomalies below 1000 km depth, because the area is underlain by a massive volume of old Farallon slab down to 1800 km depth. The slow mid-mantle anomaly literally seems to emerge from within the subducted fragments, where they are torn apart by two slab tears.

The new observations do not suggest a simple solution to the Yellowstone problem, and we cannot resist adding some speculation of our own. But regarding technical progress in mantle seismology, we do hope that the internal consistency of our 3D images convinces the audience that tomography is now really resolving the described geometrical intricacies.

Bericht über das Seismologische Zentralobservatorium

Klaus Stammler

- Aktueller Stand von GRSN, GRF und assoziierte Stationen
- Betrieb des Datenzentrums der BGR, Stand und Neuentwicklungen
- Aktuelle Organisationsstruktur der Seismologie innerhalb der BGR
- Übersicht über aktuelle Projekte

Seismological experiments in Sumatra: insights into the updip seismic/aseismic transition and segmentation

Frederik Tilmann

Over the last five years, the Sumatran subduction zone has experienced one giant and two great earthquakes in 2004, 2005 and 2007, respectively, dominating global moment release. Yet it is likely that there is still sufficient accumulated strain remaining for at least one more great earthquake of a magnitude in the upper 8 range along this margin because there still remains in the gap north of the 2007 rupture, and the displacement in this earthquake was not large enough to accommodate plate motion since the last great earthquake at the same location. Similar sequences have occurred in the past, with notable similarities of some rupture zones (e.g., the 2005 earthquake appears to have had the same along-strike extent as the event in 1861).

We and our collaborators have operated a number of temporary seismic arrays exploring the Sumatra margin from Simeulue to the southern Mentawai island of South Pagai, exploring in total nearly 900 km of plate margin and with 130 sites on land and 40 sites on the seafloor occupied for periods between 3 and 10 months.

Aftershock locations from the Simeulue array and waveform modelling of large aftershocks demonstrates that the vast majority of aftershocks in the study region occur on the plate interface near the updip transition between the seismogenic zone and stable sliding. These events form a narrow band (≈ 20 km), whose location is closely correlated with the 500 m depth contour, suggesting that seafloor topography might help to inform our expectation of the rupture zones of future subduction earthquakes. This close correspondence is disrupted at the boundary between the two great earthquakes, where the transition to seismogenic behaviour occurs further landward by 20 km. The seismic efficiency of afterslip varies dramatically along strike, with the segment below the Banyak islands, in the gap between the two main asperities of the Nias earthquake, accommodating a much larger proportion of afterslip seismically. Very preliminary results are available for the Mentawai/West Sumatra and North Sumatra/Nias/Batu arrays. The Mentawai array has recorded an episode of resurgent seismic activity, culminating in a magnitude 7.5 earthquake on February 25, 2008, which appears to have filled in a minimum of the co-seismic displacement of the 2007 main shock, and located in a similar location relative to the forearc as in Simeulue, but appears to be deeper. The Sumatran strike slip fault, which accommodates most of the transverse component of oblique convergence, is seen to be very active in the province of North Sumatra but does not have a clear seismic expression in West Sumatra. Strong seismic activity is also associated with a number of volcanoes along the arc.

Weiterentwicklung Seismic Handler

Marcus Walther, Klaus Stammler

Poster über die aktuelle Weiterentwicklung des Seismic Handler Softwarepaketes. Gezeigt werden die Entwicklungsstrategie, Umfang der Projektwebsite, bereits umgesetzte Erweiterungen und Beispiele für das neue python Interface.

Das MAGNUS Experiment - Mantle Investigations of Norwegian Uplift Structures

Britta Wawerzinek

Die im MAGNUS Experiment registrierten seismologischen Daten werden im Rahmen des Forschungsprojekts "TopoScandiaDeep - The Scandivianian mountain chain: deep processes" ausgewertet. TopoScandiaDeep ist Teil des ESF EUROCORES Programms TOPO-EUROPE und untersucht die Ursache der Hebung der skandinavischen Gebirgskette.

Das MAGNUS Netzwerk besteht aus 31 Breitband-Stationen des Karlsruhe BroadBand Arrays, die von September 2006 bis Juni 2008 kontinuierlich registrierten. Zusätzlich sind Daten von 10 Permanentstationen von NORSAR und NNSN (Norwegian National Seismic Network) verfügbar. Der resultierende Datensatz beinhaltet 347 teleseismische ($M_w \geq 6.0$) und 74 regionale Erdbeben ($M_w \geq 5.1$). Zur Untersuchung der Struktur der Kruste und des oberen Mantels werden folgende Verfahren verwendet:

- teleseismische P- und S-Wellen Tomographie
- Oberflächenwellen Tomographie
- P- und S- Receiver Funktionen
- Scherwellen Doppelbrechungsanalyse
- Rauschanalyse.

Die dadurch gewonnenen Informationen über die Struktur unter Süd-Norwegen werden benötigt, um die Hebungsprozesse, die zur heutigen Topographie führten, zu modellieren.

Archäoseismologisches Modell des Sarkophages von Arttumpara (Pinara, Türkei)

Norman Gerd-Uwe Kalz, Klaus-G. Hinzen, Stefan Schreiber, Baris Yerli

Die antike Stadt Pinara liegt in der Südwest Türkei, südöstlich der Stadt Fethiye, am Westrand des Esen Beckens. Das Esen Becken ist eine im Miozän bis Pliozän angelegte Grabenstruktur, die tektonisch zur Fethiye – Burdur – Störungszone (FBSZ) gehört.

Die FBSZ war schon in historischer Zeit seismisch aktiv. Die stärksten instrumentell beobachteten Beben ereigneten sich im NE und SW der FBSZ und erreichten Magnituden über 6. Pinara wurde von den Lykiern im 5.Jh. vor Chr. angelegt und weist auch hellenistische, römische und byzantinische Bebauung auf. Die Stadt wurde vermutlich im 9. Jh. n.Chr. aufgegeben. Teile der Bebauung in dem topographisch bewegten Gelände zeigen strukturelle Schäden, deren Ursprung in der Literatur bislang mehrfach auf Erdbeben zurückgeführt wurde. Eine diesjährige Feldkampagne diente der 3-D Vermessung einiger Bauwerke, als Grundlage für archäoseismologische Modelle.

Der lykische Sarkophag des Arttumpara mit einem Gesamtgewicht von 27 t ist um 6.37 Grad aus seiner ursprünglichen Aufstellrichtung (N-S) im Uhrzeigersinn rotiert. Dies wurde als Erdbebenfolge interpretiert. Während der Feldkampagne ergaben sich Hinweise auf Spuren von Raubgrabungen. Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf einer sprengtrichterähnlichen Abplatzung an der SE-Ecke des Sarkophages und möglichen Ansatzpunkten von Hebeln. Auf Grundlage eines 3-D Laserscans wurde ein "Modell diskreter Element" erstellt. Simuliert werden plausible Belastungen durch Lokalbeben, sowie Krafteinwirkungen auf den Sarkophag durch Sprengung oder Einsatz schweren Werkzeugs (z.B. Hebel).

Untersuchungen zum Verhalten der Rheinuferböschung im Römischen Köln bei seismischer Belastung

Isabel Wiosna, Stephan Schreiber, Klaus Günter Hinzen

Im Zuge archäologischer Ausgrabungen in den 1950er und 1970er Jahre im historischen Stadtkern von Köln wurden Teile des Prätoriums freigelegt. Von etwa 50-400 n. Chr. war das Prätorium Sitz des Römischen Statthalters in Köln. Es befindet sich an der Uferböschung eines alten Rheinarms, welche von Westen nach Osten hin abfällt. Sie wird aus quartären Sanden und Kiesen der Niederrheinischen Bucht aufgebaut.

In früheren Arbeiten wurden Erdbeben als mögliche Ursache von starken Bauwerksschäden am Prätorium und benachbarten Bauten in Betracht gezogen. Parallel zu laufenden Ausgrabungen in der neu entstehenden Archäologischen Zone Köln, ein unterirdischer Museumskomplex in der Kölner Innenstadt, soll die Ursache der Gebäudeschäden weiter geklärt werden. Da sekundäre Schäden durch getriggerte Hangbewegungen eine mögliche Ursache sind, ist das dynamische Verhalten des Untergrundes von Bedeutung.

Zur Modellierung dieses Verhaltens wurde zunächst ein dreidimensionales Untergrundmodell der Rheinuferböschung erstellt. Die Grundlage für die Erstellung des Untergrundmodells bilden Flachsondierungen in der Grabung des Prätoriums, Tiefbohrungen die während des Baus einer U-Bahn Linie abgetäuft wurden und Angaben aus zahlreichen archäologischen Befunden. Aus diesem neuen Modell wurden 2D Schnitte in Ost-West Richtung extrahiert und mit dem Programm GEOSLOPE in Finite Element Modelle umgesetzt. Materialkennwerte der Niederterrasse und des darunter liegenden Tertiärs wurden aus Literaturangaben ermittelt. Als Anregung in den Berechnungen wurden zunächst harmonische Signale und bandbegrenzte stochastische Zeitreihen verwendet. Im Frequenzbereich zwischen 0.08 Hz und 12 Hz wurden die Antwortspektren der Bodenbewegung zusammengestellt. Vergleiche mit Rechnungen eines flachen Modells zeigen einen signifikanten Einfluss der Ufertopographie auf des Schwingungsverhalten. Bei Berücksichtigung der Topographie sind in der vertikalen Richtung die spektralen Antwortamplituden der Beschleunigung im Frequenzbereich um 1.4 Hz um mehr als den Faktor 8 höher als an der Modellunterkante. Zur Simulation von Schadenszenarien werden synthetische Seismogramme verwendet.