

Aktuelle Entwicklungen im BGR-Fachbereich "Seismologisches Zentralobservatorium, Kernwaffenteststopp"

Christian Bönnemann

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

Der Schwerpunkt der Aufgaben des BGR-Fachbereichs B4.3 (Seismologisches Zentralobservatorium, Kernwaffenteststopp) liegt im Feld der Seismologie. An erster Stelle ist die Wahrnehmung der Aufgabe des Erdbebendienst des Bundes zu nennen, der seine Daten vor allem von den Stationen des Deutsche Seismologische Regionalnetz (Betrieb in Zusammenarbeit mit Hochschulen, GFZ Potsdam und Landeserdbebendiensten), des Gräfenberg- und des GERESS-Arrays bezieht. Für Verifikations des Kernwaffenteststoppvertrags (CTBT) ist das Nationale Datenzentrum in B4.3 angesiedelt. Auch hier spielt die Seismologie eine Schlüsselrolle, sowohl methodisch als auch durch die Synergie mit dem Datenzentrum des Seismologischen Zentralobservatoriums. Stetig zugenommen hat in den letzten Jahren die fachliche Beratung und Forschung auf dem Gebiet der induzierten Seismizität. Neben der tiefen Geothermie und der Erdgasförderung ist auch das Fracking als mögliche Ursache von Erdbeben in den gesellschaftlichen Blickpunkt geraten.

Über die Seismologie hinaus befasst sich B4.3 mit dem Themenfeld Infraschall. Insbesondere bei der Digitalisierung, Übertragung und Archivierung der Daten lassen sich viele Herangehensweisen übertragen, während bei der Aufnahme und Auswertung der Messdaten meist andere Ansätze erforderlich sind. Infraschall ist ein recht neues und sich stürmisch entwickelndes Gebiet, das zahlreiche interessante Herausforderungen bietet.

Als jüngstes Aufgabenfeld ist zum Fachbereich der geophysikalische Anteil des GEOTHERM-Programms hinzugekommen. Dieses Programm wird vom Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung finanziert und hat zum Ziel, in Partnerländern der Entwicklungszusammenarbeit die Nutzung geothermischer Energie zu fördern, wobei der Schwerpunkt in der Hochenthalpie-Geothermie liegt. Daher liegen die Arbeitsschwerpunkte in vulkanischen Regionen.

Um die Beratungsaufgaben mit der notwendigen Fachkompetenz flankieren zu können, wird zweckorientierte Drittmittelforschung betrieben, wobei die Finanzierung durch Mittelgeber wie DFG, EU, Land Niedersachsen oder DGMK erfolgt.

Downhole Seismic Monitoring in the Istanbul/Eastern Sea of Marmara Region: Recent Results from the ICDP-GONAF Project

Marco Bohnhoff^{1,2}, Georg Dresen¹, Fatih Bulut¹, Christina Raub¹, Tugbay Kilic³, Recai F. Kartal³, Filiz Tuba Kadirioglu³, Murat Nurlu³, Peter E. Malin⁴, Hisao Ito⁵

¹GFZ German Research Center for Geosciences, Helmholtz-Centre Potsdam, Germany

²Freie Universität Berlin, Department of Earth Sciences, Germany.

³AFAD, Disaster and Emergency Management Presidency, Earthquake Department, Ankara, Turkey.

⁴Institute of Earth Science and Engineering, University of Auckland, Auckland, New Zealand.

⁵Jamstec, Center for Deep Earth Exploration (CDEX), Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Kanagawa, Japan.

The North Anatolian Fault Zone (NAFZ) below the Sea of Marmara represents a ‘seismic gap’ where a major earthquake is expected to occur in the near future. The Marmara segment of the NAFZ is located between the 1912 Ganos and 1999 Izmit ruptures and is the only segment that has not ruptured since 1766. The ICDP-GONAF project (Geophysical Observatory at the North Anatolian Fault; www.gonaf.de) involves the installation of a high-resolution borehole seismic observatory at the NAFZ consisting of several 300m deep vertical boreholes in the broader Istanbul / eastern Sea of Marmara region to monitor the Princes Islands segment at the transition from the ‘seismic gap’ to the recent 1999 Izmit rupture. GONAF is an international collaboration and co-funded by the International Continental Scientific Drilling Programme (ICDP), GFZ Potsdam and the Disaster and Emergency Management Presidency in Ankara/Turkey (AFAD). Further principal partners are IESE/New Zealand, JAMSTEC/Japan, MIT and UNAVCO/both US,. The principal scientific objective of GONAF is to study physical processes acting before, during and after the expected M>7 earthquake along the Princes Islands segment by long-term monitoring microseismic activity at significantly reduced magnitude detection threshold and improved hypocentral resolution. By the end of 2013 three GONAF boreholes were successfully implemented and arrays of borehole seismometers were installed for permanent operation. Vertical 1Hz seismometers at 75m spacing as well as several different 3-component borehole seismometers at 300m depth are installed and are completed by a set of surface sensors. The benefit of seismic waveforms recorded at depth in a low-noise environment is shown and first results of microseismic activity along the Princes Islands segment are presented and will be discussed in the seismotectonic context.

Spatial distribution of scattering and absorption features revealed by coda waves from intermediate depth earthquakes in Vrancea region (Romania)

F. Borleanu ^(1, 2), L. De Siena ⁽³⁾, C. Thomas ⁽¹⁾, M. Popa ⁽²⁾, M. Radulian ⁽²⁾

¹ Institute for Geophysics, University of Munster (Germany)

² National Institute for Earth Physics (Romania)

³ School of Geosciences, University of Aberdeen (Scotland)

The Vrancea region, located at the limit of the SE Carpathians arc, is one of the regions of notable seismicity in Europe whose major earthquakes affect a large part of the SE Europe. Despite the numerous seismological and geodynamical studies, which provided a significant amount of new results and interpretations, this peculiar region is still subject to numerous controversies and debates. In the present study our goal is to investigate seismic coda wave attenuation in the Vrancea region and adjacent areas using data recorded by the broadband stations of the Romanian Seismic Network and produced by intermediate depth earthquakes that occurred mostly between 2009 and 2011. We select waveforms with a signal to noise ratio (SNR) larger than 1.5 where we measure peak delay times (T_{pd}) in four frequency ranges, where T_{pd} are defined as the time-difference between the S-wave travel time and the maximum amplitude of the envelope. In our approximation, this parameter characterizes the scattering due to heterogeneities present along the propagation path, while the coda quality factor (Q_c - measured from the exponential decrease of coda waves at large lapse-times) is a measure of absorption. We subsequently applied a cluster analysis to the results in order to get an interpretation in terms of intrinsic and scattering attenuation. The results show that the peak delay times exhibit a different behavior, especially at low frequencies, relative to other geographical regions investigated in literature. Scattering is more pronounced NW of Vrancea, while absorption is prevalent in the Focsani Basin, located in the forearc region. We obtain lower absorption in stable regions, and an opposite behaviour in regions characterized by active seismicity and structural heterogeneity.

SEISMOLOGICAL ANALYSIS OF THE 1917 MONTERCHI EARTHQUAKE (ITALY)

Thomas Braun ⁽¹⁾, Marco Caciagli ^(1,2) und Simone Cesca ⁽³⁾

⁽¹⁾ INGV-Arezzo, ⁽²⁾ INGV-Bologna, ⁽³⁾ GFZ-Potsdam

The seismotectonics of the Upper Tiber Valley are dominated by the Altotiberina Fault (ATF), an NE-dipping low-angle normal fault system, and its antithetic W-dipping high-angle normal faults, both active at least since the Late Pliocene (Barchi, et al., 2009, Boncio et al., 2000). Although the southern part of the ATF was demonstrated to creep (Piccinini et al., 2003), its capability to generate strong or moderate earthquakes is still under debate and – to this date – the main regional historical seismic events could not be associated to specific geologic sources.

On April 26, 1917 at 9:35:59 (GMT) a strong earthquake struck the northernmost portion of the Upper Tiber Valley (Tuscany) producing severe damages and about 20 fatalities. The Catalogue of Strong Italian Earthquakes (Boschi et al., 2000) reports this event as the so-called *Monterchi* earthquake, relating to 134 macroseismic observations, mainly distributed on the western side of the Tiber Valley. The maximum and epicentral intensity was determined as $I_0=IX-X$ (MCS), corresponding to an equivalent magnitude of $M_e=6$, that defines this event as the most important of the area. A detailed study of the Monterchi earthquake is of great actual importance not only for a better understanding of the seismotectonics and the related seismic hazard of the area, but especially concerning the question whether a LANF is capable to generate strong earthquakes.

A total of 49 historical seismograms from 19 different Euro-Mediterranean observatories are available in the database of the SISMOS Project - INGV (<http://sismos.rm.ingv.it>). The BAAS bulletin (British Association for Advancement of Sciences) of 1917, although if incomplete because of the 1st World War, reports a list of 21 seismological observatories that recorded the P and S-phases for this earthquake (Caciagli et al., 2006). We included additional arrival-times deriving from further seismic bulletins - not contained in the BAAS reports - and from digitalizing original historical seismograms. We obtain a new, robust and consistent hypocentral solution, coherent with the macroseismic data, in particular by using S-P travel time differences for recordings where the absolute timing is uncertain.

An accurate research on the technical characteristics of the recording historical seismometers (period, damping, gain etc.), allowed to deconvolve the original digitalized seismic traces (i) to determine the main seismic parameters (M_0 , M_w , Circular Fault Radius), (ii) to constrain the possible source mechanism, by a combination of first motion analysis and modelling of synthetic seismograms (seismosizer), and (iii) to implement the solution in the framework of the regional tectonic setting (Caciagli et al., 2014).

REFERENCES

- Barchi MR, et al. (2009): Seismic images of an extensional basin, generated at the hanging-wall of a low-angle normal fault: The case of the Sansepolcro basin (Central Italy), *Tectonophysics*, **479** (3-4): 285-293.
- Boncio P, et al. (2000): Architecture and seismotectonics of a regional Low-Angle Normal Fault Zone in Central Italy. *Tectonics*, **19**: 1038-1055.
- Boschi E, et al. (2000): Catalogue of Strong Italian Earthquakes from 461 B.C. to 1997 (Appendix to volume 43 N° 4, 2000), *Annals of Geophysics*, **43** (4).
- Caciagli M, et al. (2006): The "Alta Val Tiberina" (Italy) earthquake of 26th April 1917: Reassessment of the main seismological parameters, *Act of 1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Geneva, Switzerland, 3-8 September 2006, Geneva, Switzerland, 104-105.
- Caciagli M et al., (2014): Seismological analysis of the 1917 Monterchi Earthquake (Central Apennines, Italy) for seismotectonic implications. *Proc. 34 ESC-Conference*, Istanbul 24-29.8.2014.
- Piccinini D, et al. (2003): A microseismic study in a low seismicity area of Italy: the Città di Castello 2000-2001 experiment. *Annals of Geophysics*, **46** (6): 1315-1324.

The 2012 Ahar-Varzeghan earthquake doublet (Mw 6.4 and 6.2) – rupture on the same or conjugate faults?

S. Donner, H. Sudhaus, A. Ghods, F. Krüger, D. Rößler, A. Landgraf, P. Ballato

The region of northwestern Iran is exceptional within the Arabian-Eurasian continental collision zone. The recent tectonic activity seems to be dominated by the NW-SE striking right-lateral North Tabriz Fault (NTF) where regional seismicity (historical and modern one) concentrates. North of the NTF seismicity is rare and very little is known about active structures so far. Here, GPS velocity vectors are pointing North-East, while south of the NTF this direction changes to direct North.

On 11th of August 2012 the region was unsuspectedly struck by a shallow Mw 6.4 earthquake with a pure right-lateral strike-slip mechanism, which occurred about 50 km north of the NTF. Only 11 minutes later and about 6 km further NW a second shallow event with Mw 6.2 occurred. It showed an NE-SW oriented oblique thrust mechanism. Field observations revealed an E-W striking, about 12 km long surface rupture west of the first event.

While for the first event rupture on a E-W oriented fault is evident, the identification of the rupture plane for the second event is ambiguous. So far, different authors assume an ENE-WSW oriented fault plane. This assumption implies rupture of the same fault by both events. However, there are several indications that challenge this theory: 1. A theoretical mechanism based on the dimension and geometry of the surface rupture would be identical with the mechanism of the first event. An additional thrust component activated during the second event seems at odds with this fault. 2. The aftershock sequence somewhat north of the source area outlines activated, N-S oriented structures. So, a N-S rupture plane for the second event seems to be quite possible.

By inverting regional waveform data for the eikonal source and surface displacement measurements from satellite InSAR data plus additional information from geology and tectonics we test if a NNE-SSW oriented fault plane could explain the observations similarly well than the so far postulated EW-oriented fault plane. We look into directivity effects of the second event, which seem to support a NNE-SSW oriented fault plane for the second event, and furthermore employ SAR data. In the presentation we show preliminary results and discuss some technical difficulties that arise when studying this particular earthquake doublet or earthquakes sequences in general.

Preparing the installation of station ELYS: The InSight mission

**Brigitte Knapmeyer-Endrun, Max Planck Institute for Solar System Research (MPS),
Göttingen**

NASA's InSight (Interior Exploration using Seismic Investigations, Geodesy and Heat Transport) mission to Mars is expected to place a seismometer on the surface of the planet in the Elysium Planitia region in September 2016. If successful, this station, already registered with code ELYS at IRIS, will provide the first ever recordings of seismic events on Mars and address a number of important scientific questions on the structure, composition, present-day seismic and volcanic activity of the planet, and meteorite influx.

Although the mission is flown by NASA, the instruments, including a three-component VBB and a three-component SP seismometer, are essentially European contributions by partners from France, England, Switzerland, and Germany. In contrast to the lunar Apollo seismometers, installation of the station has to be done remotely on Mars. As the VBB sensor requires levelling to better than 0.1° to allow for self-recentering and successful operation, an automatic levelling system that can cope with a variety of environmental conditions that might be encountered on landing is needed. This system, which is able to compensate slopes of up to 15° , is the MPS contribution to InSight. To ensure the performance and functionality of the system, various tests, for example with regard to environmental conditions and acceleration and shock during take-off and landing, are performed. This includes determining the seismic transfer function of the levelling system in different configurations, which requires seismological measurements not only in a occupied building within town, but additionally in a clean room environment. This is a rather unusual place for a seismometer installation as it contains significant additional noise sources, e.g. close proximity to pumps for thermal-vacuum chambers and to rolling shutters, strong forced venting, and soft floor coating, while at the same time it limits the options for usable materials e.g. for thermal and wind shielding of the seismometer, and has no GPS access.

I will introduce the InSight mission, its goals, and describe the challenges of flying a seismometer to on another planet and getting it decently installed there. Besides, I will report on the seismic tests for the levelling system performed at MPS.

THE INFLUENCE OF CRUSTAL SCATTERING ON TRANSLATIONAL AND ROTATIONAL MOTIONS IN REGIONAL AND TELESEISMIC CODA-WAVES

PETER GAEBLER^{1,2*}, CHRISTOPH SENS-SCHÖNFELDER¹ AND MICHAEL KORN²

Monte Carlo solutions to the Radiative Transfer Equations are used to model translational and rotational motion seismogram envelopes in random elastic media with deterministic background structure. Observation and modeling of the three additional components of rotational motions can provide independent information about wave propagation in the Earth's structure. Rotational motions around the vertical axis observed in the P-wave coda are of particular interest as they can only be excited by horizontally polarized shear waves and therefore indicate the conversion from P to SH energy by scattering at 3D heterogeneities. To investigate crustal scattering and attenuation parameters in South-East Germany beneath the Gräfenberg array multi-component seismogram envelopes of rotational and translational motions are synthesized and compared to seismic data from regional swarm-earthquakes and of deep teleseismic events.

In the regional case a nonlinear genetic inversion is used to estimate scattering and attenuation parameters at high frequencies (4–8 Hz). Our preferred model of the crustal heterogeneity consists of a medium with random velocity and density fluctuation described by an exponential auto-correlation function with a correlation length of a few hundred meters and fluctuations in the range of 3%. The quality factor for an-elastic S-waves attenuation ${}_sQ_i$ is around 700.

In a second step simulations of teleseismic phase arrivals using this estimated set of scattering and attenuation parameters are compared to observed seismogram envelopes from deep events. Both simulations of regional and teleseismic events with consistent parameters show good agreement with the measured seismogram envelopes. This includes ring-laser observation of vertical rotations in the teleseismic P-wave coda that naturally result from the proposed model of wave scattering. The model also predicts, that the elastic energy recorded in the teleseismic P-coda is not equipartitioned as the coda of regional events but contains an excess of shear energy. The results confirm that scattering generating the teleseismic P-wave coda mainly occurs in the crustal part of the lithosphere beneath the receiver. Our observations do not require scattering of high frequency waves in the mantle, but weak scattering in the lithospheric mantle cannot be ruled out.

1: GFZ GERMAN RESEARCH CENTRE FOR GEOSCIENCES, SECTION 2.4, TELEGRAFENBERG, 14473 POTSDAM, 2: INSTITUTE FOR GEOPHYSICS AND GEOLOGY, UNIVERSITY OF LEIPZIG, TALSTRASSE 35, 04103 LEIPZIG, * NOW AT BGR HANNOVER (PETER.GAEBLER@BGR.DE)

Near-surface seismic velocity changes due to thermal stressing and due to ground shaking of the Mw 7.7 Tocopilla earthquake (2007) and the Mw 8.1 Iquique earthquake (2014)

M. Gassenmeier (1,2), T. Richter (4), C. Sens-Schönfelder (1), M. Korn (2),
R. Kind (1,3), G. Asch (1,3), F. Tilmann (1,3)

- (1) Deutsches GeoForschungsZentrum, GFZ Potsdam, Germany
- (2) Universität Leipzig, Germany
- (3) Freie Universität Berlin, Germany
- (4) Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Germany

We investigate the response of near-surface elastic material to earthquake related processes and environmental forcing using Passive Image Interferometry (PII). This method uses ambient seismic noise to obtain an approximation of the Green's functions by autocorrelation of the ambient seismic noise wave field. In the second step, the daily autocorrelation functions are compared to a long term averaged autocorrelation function to detect the wave field changes. We apply the stretching method to detect relative changes of the seismic velocities for two frequency bands of 1-3Hz and 4-6Hz. In total, we analyzed 8 years of daily autocorrelations of the Integrated Plate Boundary Observatory Chile (IPOC) network with PII. Our special focus lies on two great earthquakes: the Mw 7.7 Tocopilla earthquake in 2007 and the Mw 8.1 Iquique earthquake that occurred in 2014.

For the Mw 7.7 Tocopilla earthquake we observe temporary velocity reductions at the time of the earthquake that we can relate to ground shaking. From 2007 to 2011, we observe a linear relationship between the amplitude of the velocity reductions and the peak ground acceleration (PGA) of nearby earthquakes at station PATCX. Although velocity reductions are also observed at other stations of the IPOC array for the Tocopilla earthquake a clear relationship between the PGA of this earthquake and the induced velocity reductions at the different stations is not visible.

We are currently processing data from the recent Mw 8.1 Iquique earthquake that occurred in the direct vicinity of the IPOC network in 2014, in order to test whether the linear relationship between the velocity reduction and the PGA at station PATCX extends to very large PGA values and whether the higher number of earthquakes in the extended time-period allows to identify similar behavior at other stations of the IPOC network too.

Furthermore, we observe periodic velocity variations with an annual and daily period. We present different arguments that these periodic changes are caused by thermal stress changes in the subsurface related to variations of the atmospheric temperature. Our modeling is able to reproduce the major features of the periodic velocity variations confirming that stress changes in the subsurface can be detected with noise based monitoring.

Zusammenhang zwischen Seismizität und Stimulationsmaßnahmen in Norddeutschland

Nicolai Gestermann

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Stilleweg 2, 30655 Hannover

Norddeutschland ist eine Region mit sehr geringer seismischer Aktivität. Neben einigen wenigen tektonischen Ereignissen haben sich in den letzten Jahrzehnten immer wieder Erdbeben im Umfeld der in Norddeutschland aktiven Erdgasfelder ereignet. Aufgrund der räumlichen Korrelation zu den bekannten Erdgasfeldern und ihres zeitlichen Auftretens nach Beginn der Förderung, werden diese Ereignisse von der BGR als induzierte Ereignisse bewertet und der Zusammenhang mit der Erdgasförderung als wahrscheinlich und für einige Gebiete auch als sehr wahrscheinlich eingeschätzt.

Der Auslösemechanismus dieser seismischen Ereignisse ist nicht vollständig geklärt. Somit war es denkbar, dass auch Stimulationsmaßnahmen als Ursache in Frage kommen. In der Vergangenheit wurden bis Juli 2011 regelmäßig Stimulationsmaßnahmen zur Steigerung der Erdgasförderung durchgeführt. Diese Maßnahmen können nachweislich Erdbeben auslösen. Der erhöhte Porendruck führt zu einer Erniedrigung der effektiven Normalspannung und damit zu einem früheren Erreichen des Coulomb-Bruchkriteriums.

Bei der Untersuchung wurde die zeitlich-räumliche Korrelation zwischen den seismischen Ereignissen und den durchgeführten Stimulationsmaßnahmen bestimmt. Spürbare Erdbeben, das stärkste Erdbeben in der Altmark vom 21.12.1984 ($M_L = 2,6$) ausgenommen, wurden durch Stimulationsmaßnahmen nachweislich nicht ausgelöst. Einen Zusammenhang zwischen Erdbeben und Stimulationsmaßnahmen in Norddeutschland kann auf der Grundlage der zurzeit vorhandenen Datensätze nicht nachgewiesen werden. Eine generelle Beurteilung des Zusammenhangs zwischen der Seismizität in Norddeutschland und Stimulationsmaßnahmen ist auf Grund der sehr heterogenen Datensätze mit sehr unterschiedlichen Detektionsschwellen und zum Teil fehlenden Informationen zu den Stimulationen nicht möglich. Die verfügbaren Daten reichen nicht aus, um einen Zusammenhang vollständig ausschließen zu können.

Extracting near surface attenuation from higher order noise correlations using a local array

Annabel Händel, Matthias Ohrnberger, Katrin Hannemann and Frank Krüger
University of Potsdam

Attenuation, or its inverse, quality factor Q , is an important parameter to describe the propagation of seismic waves in Earth's interior especially in the shallow subsurface where knowledge of attenuation is needed in order to give e.g. reliable ground-motion predictions for seismic hazard studies. In recent years focus has been put on attenuation estimation from Empirical Green's functions (EGF's) that are derived from the cross-correlation of ambient seismic noise. The retrieval of exact amplitude information from noise EGF's is however difficult as noise source intensity tends to vary in space and time which leads to biased attenuation estimates. Stehly et al. (2008) tackled this problem by calculating the correlation of the coda of the correlation (C^3). The use of such higher order correlations is based on the idea that the coda of noise derived cross-correlations contains scattered energy and is therefore more diffuse than the original noise field. Cross-correlating the coda of EGF's between two receivers and different third, so called coda stations, then results in an EGF with improved time symmetry and less azimuthal dependence on the noise source distribution.

Zhang and Yang (2013) could prove that the retrieval of unbiased attenuation coefficients from C^3 is possible. While these authors extracted attenuation on a regional scale and for periods within the microseism band (6-25 s), we focus on a more local scale and higher frequencies (1-5 Hz) using a small circular array in the Mygdonia basin in Northern Greece which is situated about 30 km northeast of the city of Thessaloniki. The array experiment was carried out in August and September 2011 and it consisted of 27 instruments that were placed on two circles running either for a few hours (inner circle) or for two weeks (outer circle). Inter-station distances range from a few tens of meters to approximately 2 km.

We use this local array to calculate C^3 correlations between all possible station pairs. We can show that C^3 EGF's are indeed more symmetric than EGF's obtained from normal noise cross-correlations and that the C^3 method is able to improve the signal-to-noise ratio (SNR) of the EGF by 30%. The selection of coda stations for C^3 calculation can however have a large effect on the quality of the EGF result. Only coda station that lead to a C^3 with large SNR should be used in the stack for the final C^3 EGF as otherwise EGF quality is lowered. Finally, we present first attenuation estimates from stations in the array located either on rock or soft soil formations. We look at the amplitude decay with increasing inter-station distance as well as on spectral amplitude ratios and compute the quality factor Q . As expected amplitudes decay slower on rock than on soft soil. Q values obtained for soft soil are in the order of 20-25 and are in agreement with values from previous geophysical studies conducted in the Mygdonia basin. Q values on rock are lower, lying in the range of 7-12. Though counterintuitive in the beginning, many other authors (e.g. Abercrombie, 1998) reported Q values for hard rock sites which are similar low. These values could possibly be explained by the presence of fractures and other heterogeneities in the rock at shallower depths that lead to an increase in scattering attenuation.

Transient seismicity characteristics preceding the M8.1 Iquique earthquake

S. Hainzl, B. Schurr, T. Dahm, A. Hoechner, R. Wang, F. Tilmann, O. Oncken
GFZ, Potsdam

On 1 April 2014, Northern Chile was struck by a magnitude 8.1 earthquake following a protracted series of foreshocks over several months. The Integrated Plate Boundary Observatory Chile monitored the entire sequence of events, providing unprecedented resolution of the build-up to the main event. We analyzed the catalog of more than 3000 $M > 1.2$ foreshocks finding a significant acceleration of the background activity towards the mainshock indicating that in addition to earthquake-earthquake interactions a gradual loading mechanism was present. Furthermore we find that the b value related to the frequency-magnitude distribution gradually decreased during the years before the earthquake, reversing its trend a few days before the Iquique earthquake. A similar decrease of the b -values have been previously also recognized for the 2011 Tohoku and 2004 Sumatra mega earthquakes but over an even longer time period.

Einfluss von Windkraftanlagen auf seismologische Messungen P. Hall, C. Thomas, S. Ueding

Im Rahmen der Energiewende nimmt die Bedeutung erneuerbarer Energien stetig zu. Den größten Anteil daran soll die Windenergie haben, wozu neben Repowering auch der Bau neuer Anlagen beitragen soll. Diese werden bevorzugt in dünn besiedelten, ländlichen Regionen errichtet und damit in Gebieten, die für gewöhnlich äußerst erschütterungsarm sind. Damit sind diese Gebiete für die seismologische Forschung von großer Bedeutung, da selbst schwache Bodenbewegungen noch aufgezeichnet werden können.

Windkraftanlagen sind durch ihren Aufbau und ihre Funktion jedoch als Störquellen zu betrachten, da einerseits der Turm der Anlage durch den Einfluss des Windes zu Schwankungen angeregt wird und andererseits die Bewegung der Rotoren ein Drehmoment erzeugt, das wie die Schwankungen des Turms über das Fundament der Anlage in den Boden übertragen wird.

Um die Auswirkungen dieser Bodenbewegungen zu untersuchen, wurden im westlichen Münsterland mehrere seismologische Messungen an einem Windpark sowie an einer einzelnen Windkraftanlage durchgeführt. Das Ziel der Arbeit ist eine Charakterisierung der erzeugten Bodenbewegungen. Dazu wird versucht, durch die Analyse der Frequenzspektren der einzelnen Messstationen das Abklingverhalten der seismischen Signale der Windkraftanlagen zu ermitteln, um einen Anhaltspunkt für deren Reichweite zu erhalten. Weiterhin wird der Einfluss der Windstärke und der Windrichtung auf die induzierten Bodenbewegungen untersucht. Abschließend werden die erhaltenen Ergebnisse für die einzelne Windkraftanlage mit denen des Windparks verglichen.

Erkundung von ozeanischer Kruste und Mantel im östlichen Atlantik nördlich der Gloria Verwerfung mit Hilfe von Receiver Funktionen und scheinbaren Auftauchwinkeln

Katrin Hannemann¹, Frank Krüger¹, Torsten Dahm^{1,2}

¹ Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Universität Potsdam

² Sektion 2.1 Erdbeben- und Vulkanphysik, Geoforschungszentrum Potsdam

Ein Ziel des DOCTAR Projekts (Deep Ocean Test Array) ist die Krusten- und Mantelstrukturen nahe der Gloria Transformstörung im östliche Atlantik mit Hilfe von Receiver Funktionen und den scheinbaren P-Wellenauftauchwinkeln zu untersuchen. Die Gloria Störung markiert die Plattengrenze zwischen der eurasischen und der afrikanischen Platte.

Die benutzten Daten stammen von einem Ozeanbodenarray bestehend aus zwölf Freifallstationen, die von 2011 bis 2012 für zehn Monate im Ostatlantik ca. 100 km nördlich der Gloria Verwerfung ausgesetzt wurden. Das Array hatte eine Apertur von ungefähr 75 km und befand sich in einer Wassertiefe zwischen 4 bis 6 km. Die Stationen wurden mit Hilfe einer Polarizationsanalyse von P- und Rayleighwellen orientiert.

Nach einer ersten Sichtung der Daten stellten wir fest, dass die Parameter für die Berechnung der Receiver Funktionen (Fensterlänge für die Dekonvolution und verwendete Filter) nicht einheitlich gewählt werden können. Wir legten verschiedene Kriterien fest, die uns helfen sollten die Güte der erhaltenen Receiver Funktionen zu beurteilen. Diese Kriterien beinhalten die relative Position des P-Pulses innerhalb des verwendeten Dekonvolutionsfensters und Energieverhältnisse von unterschiedlichen Zeitfenstern der dekonvolvierten Spuren. Wir stellen diese Kriterien in Abhängigkeit der verwendeten Parameter (Dekonvolutionslänge und Filter) dar, um damit eine Auswahl an geeigneten Parametern zu treffen.

Seit Wiechert (1907) ist bekannt, dass der scheinbare Auftauchwinkel der P-Welle an der freien Oberfläche direkt mit der S-Wellengeschwindigkeit zusammenhängt. Am Ozeanboden ist dieses Verhältnis komplexer, da die Dichten von Kruste und Wasser, sowie die P-Wellengeschwindigkeit im Wasser einen zusätzlichen Einfluß auf den scheinbaren Auftauchwinkel haben, wie exemplarisch gezeigt wird. Weiterhin konnten wir auch für Tiefseestationen verifizieren, dass ein Zusammenhang zwischen der dominanten Periode der P-Wellen und ihren scheinbaren Auftauchwinkeln besteht. Durch den scheinbaren Auftauchwinkel ist es uns möglich eine erste Abschätzung für die S-Wellengeschwindigkeit zu treffen.

Wir können anhand eines Vergleichs mit synthetischen Receiver Funktionen nachweisen, dass Mehrfachreflexionen aus der Wassersäule nur einen geringen bzw. keinen Einfluß auf die Receiver Funktionen der tatsächlichen Daten haben. Die von uns identifizierte MOHO-Konversion deutet auf eine Krustenmächtigkeit zwischen 6 bis 9 km hin und stimmt sehr gut mit den zu erwartenden Mächtigkeiten von ca. 70 Ma alter ozeanischer Kruste überein. Zudem enthalten die Receiver Funktionen noch Informationen bezüglich der Mantelstrukturen im zu untersuchenden Gebiet. Wir benutzen den Zhu und Kanamori (2000) Algorithmus, den scheinbaren Auftauchwinkel und den Vergleich mit synthetischen Receiver Funktionen, um erste Schlussfolgerungen bezüglich eines vorläufigen 1D Geschwindigkeitsmodells zu treffen.

Seismic inverse problems with >3C observations

H. Igel, M. Bernauer, A. Fichtner, J. Wassermann, S. Donner, Department of Earth and Environmental Sciences, Ludwig-Maximilians-University, Munich

With recent advances in observing rotational ground motions and increasing availability of strain observations (e.g., in boreholes) we pose a general question how seismic inverse problems (for structure and source) behave in the presence of more than three components of translation (>3C) as is now standard in broadband seismology. For the structural inverse problem one can formulate the problem in terms of an optimization in which a combination of observables is sought that maximizes sensitivity with respect to certain geophysical parameters at depth (e.g., density, elastic parameters) or certain regions (e.g., near receiver structure). With this general formulation we can reproduce previous results for the inverse problem including rotation (or strain) in which strong sensitivity near the receivers is obtained by inverting the amplitude ratio of translations and rotations (or strain), thus seismic tomography without travel times! Recently, we investigated the kinematic source inversion problem and analysed the resolving power of 3C vs. 6C sensors (incl. rotations). Surprisingly, some of the finite source parameters are (almost always) better resolved, when a seismic network of N 3C stations around a finite source is replaced by $N/2$ 6C stations keeping the overall number of observed traces constant. Finally, we will report on planned observational strategies in rotational seismology for observatory (ring laser) and field (portable sensors) situations.

Untersuchungen zum Einfluss statistischer Schwankungen auf Eigenrauschenanalysen

Johannes Käüfl, Thomas Forbriger
Geophysikalisches Institut, KIT

Sleeman, van Wettum und Trampert haben 2006 in dem Paper *Three-Channel Correlation Analysis: A New Technique to Measure Instrumental Noise of Digitizers and Seismic Sensors* eine Methode vorgestellt um das frequenzabhängige Eigenrauschen drei-kanaliger linearer Systeme zu bestimmen. Dazu wird das Leistungsdichtespektrum N des Eigenrauschens aus den Auto- und Kreuzleistungsdichtespektren P dreier Zeitreihen (1, 2, 3) errechnet, indem inkohärente Signalanteile (N_{11}) von kohärenten Signalanteilen $\frac{P_{21}P_{13}}{P_{23}}$ getrennt werden:

$$N_{11} = P_{11} - \left| \frac{P_{21}P_{13}}{P_{23}} \right|$$

Diese Trennung wird durch eine statistischen Auswertung der Messsignale ermöglicht. Aufgrund zufälliger Schwankungen bei der Berechnung der Leistungsdichtespektren kann das Eigenrauschen scheinbar negative Werte annehmen. Das Poster zeigt anhand von Messdaten unter welchen Bedingungen diese negativen Werte auftreten können und deren Einfluss auf Eigenrauschmessungen.

Die zugrundeliegenden Messdaten stammen von Temperaturmessungen, die im Rahmen einer Masterarbeit zur Untersuchung der Temperaturstabilität seismischer Sensoren am Geowissenschaftlichen Gemeinschaftsobservatorium Schiltach (BFO) durchgeführt wurden.

S receiver function observations of flat subduction in north-western United States

Rainer Kind, Xiaohui Yuan, Forough Sodoudi

Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam

We used more than 40,000 S receiver functions recorded by the USArray project to study the seismic discontinuities in the upper mantle below the north-western and central United States. We observe a negative discontinuity (downward reduction of velocity) from the west coast to the Mid Continental Rift. Its depth is near 100 km at the west coast and it deepens to near 200 km at the Mid Continental Rift. This structure is interrupted between 41-46°N by a west dipping negative discontinuity, which reaches about 200 km depth near the longitude of Yellowstone where it jumps up to 100 km depth. We suggest to interpret this structure as lithosphere-asthenosphere boundary (LAB) of the flat subducting Laramide slab, which has tears near 41 and 46°N and is delaminating between. We also observe the mid lithospheric discontinuity (MLD) below the cratonic US near 100 km depth and indications of the LAB near 200 km depth east of the Mid Continental Rift. In addition, the discontinuity at 410 km depth, a negative discontinuity above the 410 km discontinuity and the bottom of the asthenosphere (Lehmann discontinuity) are observed.

Regional seismic monitoring of dynamic glacier activity on Spitsbergen, Svalbard

Andreas Köhler¹, Christopher Nuth¹, Johannes Schweitzer², Christian Weidle³

- 1) Dept. of Geosciences, University of Oslo, Norway
- 2) NORSAR, Kjeller, Norway
- 3) Department of Geosciences, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Germany

Seismic observations can be used to monitor glacier activity such as basal sliding, crevassing, and calving. We use seismic data recorded on permanent broadband stations on Svalbard to detect, locate and analyze near-regional glacier seismicity. We observe a high number of icequakes around Kongsfjorden (northwestern Spitsbergen) and Hornsund (southern Spitsbergen) that are clearly related to individual tidewater glaciers in these areas.

Seismicity shows clear seasonal variability, with many more events during melt season. We have strong evidences from a local monitoring experiment at Kongsfjorden as well as from direct observations that those icequakes are related to calving. A second type of glacier-related seismic emission around Kongsfjorden is a tidally modulated tremor-like signal. Tremoring could be due to tidally modulated hydrostatic pressure changes which could influence the flow of water through the basal hydrological system of glaciers.

We also find that glacier surges can be observed seismically. A cluster of seismic events in Southern Spitsbergen is related to the surge of the Nathorstbreen glacier system in 2009. Potential candidates for the source mechanisms are bed-failure and glacier faulting. Furthermore, as an indirect indicator for surging, we observe a higher number of seismic calving events during surges of Tunabreen (2003) and Wahlenbergbreen (2011) compared to melt seasons in other years. In summary, our results show the great potential of using seismic observations to quantify calving, to better understand the glacier basal hydrological system, and to detect surging on Svalbard and thereby supporting glaciologists in better dating surging events.

Die Energiewende ohne Erdbebenregistrierung geht das?

Matthias Kracht

Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden

In Hessen soll die Energiewende nach dem Regierungswechsel Fahrt aufnehmen. Die Ziele werden vom Hessischen Wirtschaftsminister wie folgt formuliert: *Beim Ausbau der Erneuerbaren werde Hessen vor allem auf den Ausbau der Windkraft setzen. „Eine große Mehrheit in Hessen unterstützt diesen Weg“, betonte Al-Wazir. „Aber natürlich bin ich mir bewusst, dass es vereinzelt vor Ort auch zu Konflikten kommt... und weiterder Anteil der Erneuerbaren Energien am Stromverbrauch in Hessen soll bis zum Ende der Legislaturperiode gegenüber heute auf 25 Prozent verdoppelt werden.“*

Dabei wurden gesetzliche Grundlagen zur Umsetzung vor allem für Windenergie geschaffen: *Die Landesregierung hat die Voraussetzungen geschaffen, um etwa 2 Prozent der Landesfläche vorrangig zur Nutzung der Windenergie zur Verfügung zu stellen. Die Dynamik beim Ausbau der Windkraft in Hessen lässt sich an den Ausbauzahlen ablesen: Zum Ende des Jahres 2013 befanden sich in Hessen 754 Windkraftanlagen mit einer installierten Leistung von 973 MW in Betrieb. Aktuell (14.03.2014) sind weitere 96 Anlagen mit 234 MW Leistung genehmigt und 405 Anlagen mit 1.033 MW Leistung im Genehmigungsverfahren.*

Dass Windkraftanlagen seismische Messungen beeinflussen, wurde in verschiedenen Stellungnahmen und Veröffentlichungen beschrieben. So schreibt das FKPE in seiner Stellungnahme (Stammler & Friedrich, 2013): *„Eine unregelmäßige Aufstellung von Windrädern kann den Betrieb von seismologischen Messnetzen und die Beobachtungsbedingungen für die Erdbebenüberwachung in Deutschland massiv beeinträchtigen. Aus diesem Grunde fordern wir, dass die Belange der Erdbebenbeobachtung in Deutschland vor der Genehmigung und Errichtung einer Windkraftanlage angemessen berücksichtigt werden. Die pauschale Festlegung eines Mindestabstands halten wir nicht für sinnvoll, da das Ausmaß bereits vorhandener Störungen anthropogenen Ursprungs an den vorhandenen Standorten in Deutschland stark variiert. Ein angemessener Mindestabstand einer Windkraftanlage von einer seismologischen Messstation sollte daher im **Einzelfall** festgelegt werden.“*

In der Studie „Windkraft als seismische Störquellen“ von Widmer-Schmidrig, Forbriger & Zürn,

Sept. 2012 werden folgende Schlussfolgerungen als Kernaussage für einen **Abstandspuffer** getroffen: *„Solange wir über keine bessere Daten verfügen, gehen wir aufgrund unserer Loßburger Messungen davon aus, dass Windkraftanlagen näher als 10 km vom BFO von unseren Sensoren detektiert und diese also auch durch erstere gestört werden.“* Die hier bekannten Studien kommen zu der Auffassung, dass mindestens 10 km als Abstandspuffer zwischen Windkraftanlage und Erdbebenstation erforderlich sind.

Bisher gibt es keine Festlegungen, wer bei möglichen Beeinträchtigungen der Erdbebenstationen in Hessen zu beteiligen wäre.

Aus den bestehenden Studien wird hergeleitet, wie über Abschätzungen ein immer wieder geforderter Abstandspuffer zur Einzelfallfestlegung führen kann. Es wird beschrieben, wie in Hessen mit dem Thema umgegangen werden soll (im Rahmen der Genehmigungsverfahren). Mit welcher potenziellen Beeinflussung durch geplante oder schon bestehende Windkraftanlagen für den Hessischen Erdbebendienst aber auch für das Taunus-Observatorium zu rechnen ist, wird gezeigt. Ein Vergleich was bisher zu dem Thema aus anderen Bundesländern bekannt ist, zeigt auf, wie unterschiedlich vorgegangen wird.

Literatur

Stammler, K., Friedrich, W. (2013): Stellungnahme der Arbeitsgruppe Seismologie des „Forschungskollegiums Physik des Erdkörpers (FKPE)“ zur Errichtung von Windkraftanlagen in Deutschland

Widmer-Schmidrig, R., Forbriger, Th. & Zürn, W. (2012) Windkraft als seismische Störquellen, Bericht, Black Forest Observatory (BFO), Heubach 206, D-77709 Wolfach

Depth Relocation of Shallow Events by Waveform Fitting of First P Phase Arrivals

Marius Kriegerowski

Institute of Earth and Environmental Science, University of Potsdam

marius.kriegerowski@uni-potsdam.de

ABSTRACT

Reliable depth estimations of shallow earthquakes are of major importance as they provide crucial information on a rupture's triggering - especially if anthropogenic influences could be involved. The method presented here approaches the problem of depth estimation refinement by modeling waveforms of primary phase arrivals and the early coda and minimizes the misfit between synthetic and recorded traces in a least squares sense.

Two different study case scenarios (local and regional scales) form the basis for statistical testing. First one is a magnitude $M_l = 2.0$ event, recorded by a 50 km aperture array comprised of 12 broad band stations in central Portugal. The second one is a magnitude $M_w = 4.3$ rupture which, opposing to the first event, was likely triggered by anthropogenic action. The latter event occurred in southern Spain and was recorded by 7 stations in epicentral distances of up to 200km.

By testing both setups at different noise levels using synthetic data it becomes apparent that the developed method is able to give correct depth estimates ($\pm 200m$) at average signal-to-noise ratios down to -3db. In order to quantify the stability against erroneous focal mechanisms, an angle was defined which represents the rotation angle needed to transform the eigensystem of one focal mechanism's moment tensor into another. Inverting for the depth of randomly chosen focal mechanisms proves that the targeted source's moment tensor needs to be known with a deviation of less than 25-30 degrees. Further testing of the robustness against lateral mislocalizations shows that correct depth can be determined if the epicentral location is known with a maximum deviation from the true position of less than approximately 1.5 km and 7.0 km in the local and the regional scenario, respectively.

It is verified, that fitting synthetic waveforms of the primary phase and the early coda following that arrival can also be used to identify a focal mechanisms strike, dip and rake angle together with the source's depth. Moment tensor inversions of synthetic sources give satisfying results in 80% of the tests using a focusing monte carlo inversion approach.

FK analysis of seismicity recorded in Western Bohemia

Nasim Karamzadeh Toularoud⁽¹⁾ and Marius Kriegerowski⁽²⁾

(1) karamzad@gfz-potsdam.de, German Research Centre for Geosciences, Potsdam

(2) marius.kriegerowski@uni-potsdam.de, Institute of Earth and Environmental Science, University of Potsdam

ABSTRACT

Earthquake swarms occur regularly in Western Bohemia but triggering mechanisms of these events are still not entirely understood. Detailed study of microseismicity in that region helps to extend knowledge regarding these mechanisms.

A proven method that targets seismic activity analysis on small magnitude scales combines measurements from different stations, set up in a closely spaced, well-defined configuration termed a seismological "array". Array methodologies provide the possibility to determine slowness and back azimuth of incident wave fronts and, besides that, can be used to improve signal-to-noise ratios by stacking waveforms.

A mini array with an aperture of only 700 meters was installed in Western Bohemia in November 2012 by the University of Potsdam in collaboration with the German Research Centre for Geosciences (GFZ). All 10 stations were equipped with Mark L4-3D seismometers which have corner frequencies of 1 Hz. The stations were set up on hard rock which enables to transfer higher frequencies than e.g. sediments. Ten events with small to intermediate magnitudes of 0.0 to 2.0 (M_{SgV}) were examined using fk-analysis, which corresponds to beam forming in the frequency domain, using 4 different frequency bands with center frequencies of 10, 17, 29 and 50Hz. These events occurred in Western Bohemia in 2013 and were recorded by the array mentioned above. All events were located at epicentral distances between 8 km to 20 km from the geographical center of the array. We compare the estimated back azimuths to theoretical back azimuths according to the seismicity catalog by the university of Leipzig. For each of the chosen events the deviation of the fk back azimuth and the theoretical back azimuth according to the underlying catalog is smaller than 10 degrees.

The presented mini-array is able to detect weak seismicity as well as reliably determine back azimuths. It can therefore substantially contribute to the understanding of intraplate seismicity of Western Bohemia where events of magnitudes up to $M_L = 3.0$ or higher as well as continuous earthquake swarm activity is persistent.

array geometry and seismicity

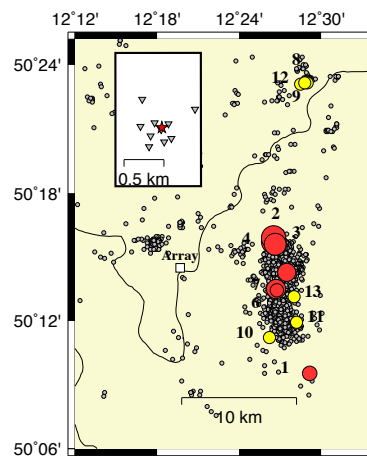


Figure 1: Events of magnitude $M_{SgV} = 0.0$ and higher are numbered and depicted as yellow and red circles, respectively. Grey dots indicate earthquakes in 2013.

Auf dem Weg zu akkuraten Lokalisierungen induzierter, seismischer Ereignisse im Insheim-Reservoir

Ludger Küperkoch, BESTEC GmbH

Fast jedes „Deep-Heat-Mining“-Projekt zeigt induzierte Seismizität. Diese dient zum einen als Werkzeug für die Schaffung oder Vergrößerung der unterirdischen Wärmetauscherflächen, zum anderen als Werkzeug zum Nachweis für die Migration der Injektionsfluide und somit zur Abschätzung der Größe des Reservoirs. Dies ist fundamentaler Bestandteil der Reservoircharakterisierung sowohl während der Stimulations- als auch während der Produktionsphase. Somit sind hoch-akkurate Lokalisierungen von großer Bedeutung. Während die Präzision der Lokalisierungen heute kaum noch eine Schwachstelle darstellt auf Grund der technischen Verbesserungen (hohe Sampleraten, GPS-Synchronisation), stellen hoch-akkurate Lokalisierungen immer noch eine Herausforderung dar, insbesondere in Gebieten mit komplexen Untergrundstrukturen wie dem Oberrheintal-Graben. Vielfach werden Kalibrationsschüsse benutzt, um Stationskorrekturen zu berechnen und so das 1D-Geschwindigkeitsmodell mit den 3D-Untergrundstrukturen zu kalibrieren. Dies setzt jedoch die Annahme voraus, dass die Seismizität im Bereich des Kalibrationsschusses auftritt (demnach meist im Bohrlochtiefsten), was jedoch meist nur zu Beginn einer ersten Stimulationsphase der Fall ist. Zur Lokalisierung der seismischen Ereignisse im Insheim-Reservoir wird daher folgendes Prozedere angewendet: Basierend auf einem guten 1D-Geschwindigkeits-Startmodell aus VSP-Messungen wird zunächst mit Hilfe von VELEST ein Minimum-1D-Geschwindigkeitsmodell erstellt, was die bestmögliche Approximation eines 1D-Geschwindigkeitsmodells an die 3D-Untergrundstrukturen darstellt und Stationskorrekturen zur Verfügung stellt. Da die Hypozentralabstände der seismischen Ereignisse klein sind verglichen zu den Station-Hypozentrum-Abständen, bietet sich eine anschließende Re-Lokalisierung mittels hypoDD an unter Einbeziehung der vorher ermittelten Stationskorrekturen. Verifiziert werden konnten die so gewonnenen Lokalisierungen an Hand eines seismischen Clusters hoch-ähnlicher Ereignisse, von denen eines eine hydraulische Signatur in den Bohrlochkopfdruck-Aufzeichnungen der Produktionsbohrung hinterließ und daher in unmittelbarer Nähe zu dieser stattgefunden haben muss.

Source parameters of the Sarez Pamir earthquake February 18, 1911.

Galina Kulikova¹, Elisabeth Brzoska², Dr. Bernd Schurr³, apl. Prof. Dr. Frank Krueger¹.

¹Institute of Earth and Environmental Sciences University of Potsdam
Contact: Galina.Kulikova@geo.uni-potsdam.de

²Institute of Applied Geosciences, KIT - Karlsruhe Institute of Technology

³Section 3.1, Lithosphere Dynamics, Helmholtz Centre Potsdam, GFZ German Research Centre for Geosciences

Abstract

The Sarez Pamir earthquake occurred on February 18, 1911. The earthquake was registered by analogue seismic instruments worldwide and according to different sources its magnitude was estimated to be between 7.4 and 7.8. It was also known that approximately at the same time a large landslide occurred in the same region, which blocked the Murgab river, creating a giant natural dam that led to the filling of a very large lake, today called Sarez Lake. However the Sarez Pamir earthquake and the landslide raised particular interest in 1915 when the inhabitants of the area expressed to the government their fear that the Sarez lake, which significantly increased in size and volume, might breach and cause a catastrophe in the region. This initiated the geological expedition sent by the Russian government which confirmed, based on collected oral testimonies, that the landslide and the earthquake were associated, moreover that they have occurred on the same day and approximately at the same time (precise timing is not available).

Following that discovery several seismologists opened a discussion whether the Pamir Sarez earthquake ever took place or it was just the landslide recorded by seismic instruments. A number of publications over the decades followed trying to investigate this possibility and describe it by energy estimation of the earthquake and the landslide. Those studies were also unsuccessful in the earthquake depth determination, because this region produces deep earthquakes as well as shallow ones. The discussion ended only in 2012 by the publication of N. Ambraseys & R. Bilham (2012) who demonstrated that the landslide would not have enough energy to explain the seismograms and the source time duration of the landslide would be considerably longer than the recorded one. However, the question of hypocentral depth as well as the mechanism of the earthquake remained open.

We present here the results of the investigation of Sarez Pamir earthquake by analysis of analogue seismic records. We have collected 24 seismic records from 12 seismic stations worldwide. Those seismograms were scanned and digitized. The digitized seismic records were used to: relocate the earthquake to 38.228°N and 72.023°E; determine its magnitude $m_B = 7.2$, which appears to be smaller than previously reported values; and define the depth as shallow as 15 - 20 km. Additionally based on the amplitude ratios comparison the rough estimate of the earthquakes focal mechanism was made. Furthermore the digitized seismic waveforms have good quality which allowed waveform modeling (rare possibility for a historical earthquake) to additionally constrain the focal mechanism, the fault orientation and the depth, and determine the seismic moment of the earthquake.

Dispersion analysis of active and passive seismic surface waves at shallow geotechnical sites in Germany and V_S profiling

Lontsi, A. M.*[§], Ohrnberger, M.* , Krüger, F.*

* *Institute of Earth and Environmental Science, University of Potsdam, Karl-Liebknecht-Str. 24-25 14476 Potsdam-Golm, Germany.*

[§] *Corresponding author: alontsi@geo.uni-potsdam.de*

Abstract

Estimating the high resolution shear wave velocity (V_S) of the shallow subsurface is of interest in seismic hazard assessment and geotechnical engineering. We present a robust method for deriving the 1D shear wave velocity information down to the first strong impedance contrast at shallow geotechnical sites. We use multiple small apertures seismic arrays in 1D and 2D configuration to record active and passive seismic surface waves data. The active data (1D configuration) are processed using the slant-stack frequency-wavenumber ($f - k$) method known as Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) to extract the high frequency (approx. $> 10Hz$) dispersion characteristic of the propagating surface waves. The passive data (1D or 2D configuration) are similarly processed using the (1D or 2D) frequency-wavenumber method to derive the low- (approx. $0.5Hz$) to intermediate frequency range (approx. $10Hz$) dispersion characteristic. Depending on the array configuration and the number of receivers available and the source distribution at the origin of the noise wavefield, we obtain a highly variable signal to noise ratio in the $f - k$ or frequency-slowness diagram for specific frequency bands. Here we first correlate the seismic traces from distinct receiver pairs. The latter are re-ordered in a virtual array setup and then processed like the active MASW. The reliability of the picked dispersion curves is ensured that we do not violate the array capability limit criterion and additionally by constraining where necessary with spatial autocorrelation (SPAC) derived dispersion curves. This multi-method multiple small apertures array approach provides a good constraint for mode extraction and a broad spectrum of the dispersion characteristic. The procedure is demonstrated on a data set from two sediment covered sites, Horstwalde and Löbnitz (Germany).

Based on the nonlinear direct search neighborhood algorithm, the parameter space is sampled. For each individual model candidate the misfit value based on the Root Mean Square value is computed. A simple scheme based on the number of effective data points in each mode is introduced and used to define the weight of each data point to the global misfit. Our results indicate an overall sediment cover of approximately $350m$ and $70m$ thick, respectively, in Horstwalde and Löbnitz. The profiles are compared with previous geophysical investigations and with geological log information available for each sites.

Keywords: Active seismic, passive seismic, dispersion curves, inversion, V_S

Compositional variations of magmas in volcanic fields of the Central European Cenozoic Igneous Province reflect the shape of its asthenospheric reservoir

Thomas Meier¹, Riaz Soomro¹, Christian Weidle¹, Luigia Cristiano¹, Sergei Lebedev², Lothar Viereck³, Michael Abratis³, Jan Behrmann⁴

¹ Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Otto-Hahn-Platz 1, 24118 Kiel, soomro@geophysik.uni-kiel.de, cweidle@geophysik.uni-kiel.de, luigia@geophysik.uni-kiel.de, meier@geophysik.uni-kiel.de

² Dublin Institute for Advanced Studies, Geophysics Section, 5 Merrion Square, Dublin 2, Irland, sergei@cp.dias.ie

³ Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Geowissenschaften, Burgweg 11, 07749 Jena, lothar.viereck@uni-jena.de, michael.abratis@uni-jena.de

⁴GEOMAR, Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel, Wischhofstrasse 1-3, 24148 Kiel, jbehrmann@geomar.de

Several intraplate volcanic fields between the Eifel (Germany) and Silesia (Poland) form the northern E – W oriented zone of the Central European Cenozoic Igneous Province (CECIP). The mafic magmas show systematic regional trends in geochemistry and mineralogy that require variations in the pT conditions during melt formation in the upper mantle. From the Eifel to NW Bohemia the magmas exhibit increasing Si-saturation and decreasing (La/Yb) ratios approaching the volcanic field of the Vogelsberg from both sides. The chemical variations correlate with decreasing depths of melt segregation and/or increasing degrees of partial melting. These findings are compared to results of surface tomography. Broad-band Rayleigh wave dispersion curves have been determined consistently using available seismic data for more than 25000 inter-station paths in Europe and phase velocity maps have been obtained for periods from 10 s to 200 s representing depths between about 15 km and 300 km. These maps reveal the shape of the asthenospheric reservoir beneath the CECIP. A shallow asthenosphere is found beneath the Vogelsberg region and beneath the Egergraben. The thickness of the mantle lithosphere is increasing with increasing distance to the Vogelsberg region and the volume of the shallow asthenosphere is decreasing towards the East in agreement with the geochemical evidence. The volcanic fields in the Eger graben are found above a transition from larger LAB depth beneath the Bohemian Massive to shallower LAB depths beneath the Saxothuringicum.

Joint Inversion of Receiver Function, Rayleigh Wave Ellipticity and Apparent Incidence Angle Data for Lithospheric and Crustal Structures

C. Mildner and F. Krüger
University Potsdam

A joint inversion approach is presented that combines three independent one-station methods for the inversion of a 1D P- and S-wave crustal model for a specific location. P-Receiver Functions, the frequency dependent polarization of Rayleigh waves and the apparent P-wave incidence angle are combined, resulting in an inversion process, which is less susceptible to problems related with non-uniqueness compared to pure Receiver Function studies.

From forward modelling and investigating the depth sensitivity it was obtained that all techniques are most sensitive to variations in V_S , followed by V_P and ρ . Furthermore, low-velocity sediment layers mainly influence the high frequency parts of all used methods, whereas a Moho gradient affects almost only the Receiver Functions.

A stepwise approach of inversion was developed that minimizes the weighted sum of the individual misfits (least squares method) using a gradient method with finite differences. The approach was tested and validated for synthetically computed data of a one-layer over a half-space model.

The results for the application of the inversion approach to data of one station of the Gräfenberg array (GRA1) are shown in detail. Teleseismic data was processed to invert for the depth and shape of a Moho gradient, as well as for an inter-crustal discontinuity and crustal velocities. Additionally regional events were used to reveal velocities and the thickness of a sediment layer from high frequency waveforms. With a Moho depth of 30.4 km, a crustal V_S of 3.78 km/s and a 1.1 km thick sediment layer, results are obtained that are comparable to other joined studies (Krüger & Weber, 1992, Grad *et al.*, 2009, Molinari & Morelli, 2011).

Since the approach presented in this work also yields reasonable results for stations located on thick sediments (e.g. Suwalki, Polish Basin), it may not only help to approve and constrain the crustal structure at known sites, but by combining the three different methods that were specified above, the subsurface can be imaged at stations where pure Receiver Function studies come to their limits due to inter-crustal reverberations.

Hochauflösende passiv-seismische Untersuchung des Erdbebengebiets Schwäbische Alb

Gregor Mokolke (gregor.mokolke@geophys.uni-stuttgart.de), Manfred Joswig
Institut für Geophysik, Universität Stuttgart

Die westliche Schwäbische Alb ist im 20ten Jahrhundert mehrfach durch starke Schadensbeben in Erscheinung getreten und ist eine der seismisch aktivsten Regionen Mitteleuropas. Als Zentrum der gegenwärtigen Aktivität scheint sich das dicht besiedelte Tal von Albstadt sowie die der Alb vorgelagerte Region zwischen Hechingen und Dußlingen abzuzeichnen.

Makroseismische Daten existieren für die westliche Schwäbische Alb seit dem 19. Jahrhundert. Der Leydecker-Katalog gibt 15 spürbare Erdbeben zwischen 1872 und 1903 an, danach folgt eine Pause - bis es im Jahr 1911 zu einem starken Ausbruch seismischer Aktivität kommt (Intensität 8,0 (MS)). Auch für die Jahre 1943 und 1978 sind starke Schadensbeben mit $MS=8,0$ und $MS=7,5$ zu verzeichnen. Die Württembergische Gebäudebrandversicherung bezifferte den Schaden des 1978er-Erdbebens mit rund 150 Millionen DM.

Das Institut für Geophysik der Universität Stuttgart hat bereits im Sommer 2013 eine mehrtägige Testmessung im Bereich der Westalb durchgeführt. Ziel war die Erfassung der lokalen Mikroseismizität, welche vom Landeserdbebendienst nicht mehr erfasst werden kann. Es konnten 14 Kleinstbeben mit Lokalmagnituden zwischen -1,1 und 0,4 erfasst werden. Die Ergebnisse dieser Testmessung werden vorgestellt. Sie zeigen, dass es durch die am Institut entwickelte Methode des „*Nanoseismic Monitoring*“ möglich ist, eine signifikante Steigerung der Detektionsfähigkeit gegenüber der des Messnetzwerks des Landeserdbebendienst Baden-Württemberg zu erreichen. Die Vollständigkeitsmagnitude dieses Netzwerks liegt im Bereich der Westalb derzeit bei rund 1,2.

Durch die Erfassung und Lokalisierung von Erdbeben, deren Zahl um rund zwei Zehnerpotenzen über den Detektionszahlen (20-30 / p. a.) des Landeserdbebendienst liegt, wird es möglich sein, den Verlauf und die Dynamik der aktiven Störungen hochauflösend zu erfassen, sowie die Wiederkehrhäufigkeit von Starkbeben in der Region besser vorhersagbar zu machen. Es ist geplant, ein Netzwerk von Kleinarrays zu installieren, welches über drei Jahre hinweg Detektionen bei einer Vollständigkeitsmagnitude von rund -0,7 ermöglicht. Wir stellen die Konzeption des Vorhabens und die geplanten Forschungsziele zusammenfassend vor.

Local Vp/Vs ratio in the vicinity of the Tocopilla (Chile) earthquake (Mw 7.7, 14/11/2007) inferred by differential P- and S- travel times

M. Palo¹, F. Tilmann^{1,2}, B. Schurr¹

1 - HelmholtzZentrum, Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Germany;

2 - Freie Universität Berlin, Fachrichtung Geophysik, Berlin, Germany;

We have inferred the Vp/Vs ratio along the segment of the Peru-Chile subduction margin corresponding to the rupture area of the Tocopilla earthquake (Mw 7.7, 14/11/2007). This event nucleated in Northern Chile and broke the southern ~100 km of the ~500 km Northern Chile Southern Peru seismic gap, which at the time had not seen an earthquake of this magnitude since the M~9 event of 1877. Tocopilla event activated two main co-seismic slip patches: one around the epicenter and another north-east of the Mejillones Peninsula.

We have applied the Lin and Shearer (2007) approach to the aftershock sequence of the Tocopilla event. In this approach, the relative time shift between the S phases of a pair of nearby events at one station are plotted as function of the time shifts between the P phases of the same pair. The process is repeated for a cluster of events. If the events are close enough to assume a locally uniform Vp/Vs ratio and the P-reciprocal wavefront can be approximated as planar, the points lay on a line, whose slope is an estimation of the local Vp/Vs. The technique is extended to a set of stations demeaning the time shifts from each pair of events. The time shifts are inferred maximizing the cross-correlation function between the event pairs.

The technique has been applied to clusters of events sharing similar waveforms and spatially clustered hypocentres. We have adopted a robust linear regression and have assigned a statistical error to the best fit.

Clusters have been identified along the whole profile of the subducting slab, although most clusters falls within a sub-vertical branch of the subduction interface hosting a major aftershock (Michilla earthquake, 16/12/2007, MI 6.8) and its aftershocks. This branch falls inside the subducted Nazca Plate at depths of 40-50 km, north-east of the Mejillones Peninsula, and shows Vp/Vs mostly in the range 1.7-1.8. Clusters of the plate interface shallower than about 30 km show Vp/Vs around 1.9, while at intermediate depths (30-40 km) Vp/Vs is ~1.8. We speculate on the existence of hydrated crust producing the highest Vp/Vs (~1.9 or larger) observed at shallow depths.

Backprojection of the high-frequency radiation released during the Pisagua (Chile) earthquake (01/04/2014, Mw 8.1) and the Iquique aftershock (03/04/2014, Mw 7.6)

M. Palo¹, F. Tilmann^{1,2}

1 - HelmholtzZentrum, Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Germany;

2 - Freie Universität Berlin, Fachrichtung Geophysik, Berlin, Germany;

Northern Chile has recently been struck by the Mw 8.1 Pisagua earthquake, which occurred on 01/04/2014 and partially filled the Iquique seismic gap. The Pisagua earthquake has been preceded by intense foreshock activity which started in July 2013 and culminated in a cluster of events in March 2014. We have inferred the rupture dynamics of the mainshock and of its largest (Iquique) aftershock (03/04/2014, Mw 7.6) by backprojecting the high-frequency seismic radiation released during the events and recorded by 310 stations of USArray.

The time-evolution of the high-frequency (1-4 Hz) energy radiated during the mainshock shows that the rupture lasted about 80 s, with most of the energy released between 25 s and 50 s from the onset. The cumulative energy emitted during the whole rupture process mainly originated downdip the epicenter just off the coast line, approximately in the latitude range 19.5°-20°S. This region falls at the down-dip side of the co-seismic slip area, similarly to the case of the Maule earthquake (South Chile, 27/02/2010, Mw 8.8) and of other large earthquakes. Differently from the Maule case, most aftershocks not located in the area of large seismic radiation. The time-evolution of the coherent seismic radiation displays an initial low-energy phase (lasting about 20s) during which the source starts to migrate from the nucleation point at the epicenter towards the south-east, activating deeper parts of the subduction interface. After reaching points close to the coast line (after ~30s from the onset), the source moves back towards the epicenter mainly activating in sequence two patches of the interface located around 20°S,70.5°W (F1) and 19.7°S,70.2°W (F2), shortly followed by the activation of points close to the area of the largest co-seismic slip (F3). In the last ~15s of the fracturing (F4), the re-activation of the area releasing energy during F2 is observed. Thus, despite the simple bullseye co-seismic slip pattern, the history of energy radiation is quite scattered, suggesting peculiar and sharply site-dependent frictional properties along this segment of the Chilean subduction interface.

The Mw7.6 aftershock displays a similar time-evolution of the radiating source, with an initial low-energy stage, during which the rupture front migrates from the epicenter towards deeper zones. Most energy is released about 25s from the onset, when the rupture front reaches points around 20.5°S,70.0°W.

Abstract

Topic: Analysis of T phases recorded within the DOCTAR project

In the context of the Deep Ocean Test Array (DOCTAR) project twelve ocean bottom stations (OBS) were placed in the middle Eastern Atlantic, approx. 900 km West of Portugal and 100 km North of the Gloria Fault. Recording from July 2011 to April 2012 the stations registered hundreds of small earthquakes along the Gloria transform fault, the Mid-Atlantic Ridge and at the Canary Islands. A closer look at those records shows that not only oceanic Po and So phases, but also T phases were recorded.

T waves are seismo acoustic compressional waves travelling through water. According to common literature they propagate inside the SOFAR (Sound Fixing and Ranging) channel with typical velocities of 1.5 km/s and without significant energy losses. The SOFAR channel is a horizontal layer of water. Within this layer, the joint effect of water pressure, temperature and salinity leads to a minimum of sound velocity. However, detecting T phases several km below the channel leads to the assumption that our T waves did probably not travel inside the channel.

In this study amplitude ratios and energy amounts of Po, So and T waves were calculated and the T phases were analysed regarding velocities, arrival directions, frequencies and wave train lengths. We calculated an average T wave velocity of 1.48 km/h by using nineteen earthquakes. Furthermore, we find that the T waves show typical frequencies between 2 and 20 Hz and the most power is recorded in the range of 2 to 4 Hz.

The comparison of the backazimuths indicate that the T waves were generated by scattering rather than by downslope conversion. A comparison of events of which all phases were recorded to those of which only T phases arrived show that T waves are able to travel longer distances than Po and So phases.

Monitoring the Pollino earthquake swarm (Italy)

Dirk Rößler¹, Luigi Passarelli¹, Aladino Govoni^{2,3} and Eleonora Rivalta¹

¹Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ

²INGV, Rome, Italy

³OGS, Udine, Italy

The Mercure Basin (MB) and the Castrovillari Fault (CF) in the Pollino range (southern Apennines, Italy) represent one of the most prominent seismic gaps in the Italian seismic catalog, with no $M \geq 6$ earthquakes during the last centuries. In recent times, the MB has been repeatedly interested by seismic swarms. The most energetic swarm started in 2010 and still active in 2014. The seismicity culminated in autumn 2012 with a $M=5$ event on October 25. In contrast, the CF appears aseismic. Only the northern part of the CF has experienced microseismicity. The range host a number of additional sub-parallel faults. Their rheology is unclear. Current debates include the potential of the MB and the CF to host large earthquakes and the level and the style of deformation. Understanding the seismicity and the behaviour of the faults is therefore necessary to assess the seismic hazard.

The GFZ German Research Centre for Geosciences and INGV, Italy, have been jointly monitoring the ongoing seismicity using a small-aperture seismic array, integrated in a temporary seismic network.

Using the array, we automatically detect about ten times more earthquakes than currently included in local catalogues. In the course of the swarm, seismicity has mainly migrated within the Mercure Basin. However, the eastward spread towards the northern tip of the CF in 2013 marks a phase with seismicity located outside of the Mercure Basin. The event locations indicate spatially distinct clusters with different mechanisms across the E-W trending Pollino Fault. The clusters differ in strike and dip. Calibration of the local magnitude scale confirms earlier studies further north in the Apennines. The station corrections show N-S variation indicating that the Pollino Fault forms an important structural boundary.



Operating OBS in extreme environments

Vera Schlindwein, Florian Schmid and John Scholz¹

¹*Alfred Wegener Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven*

OBS are meanwhile routinely used in the world's oceans to record local and teleseismic earthquakes for periods of up to 2 years. They have been deployed on mid-ocean ridges, in subduction trenches and on abyssal plains. However, OBS deployments for passive seismic studies in the stormy Southern Ocean and the ice-covered Arctic Ocean have so far not been attempted due to logistic challenges arising from rough sea and perennial ice cover.

We have deployed and recovered for the first time an OBS network on the Southwest Indian Ridge in the stormy "Furious Fifties" during *Polarstern* cruises ANT-XXIX/2 and ANT-XXIX/8. In addition, during *Polarstern* cruise PS86 to western Gakkel Ridge in July 2014, we performed a test deployment of a single OBS at 80%-90% sea ice cover. We report here on our experiences and special approaches used to deal with wind, ice and waves.

For local networks, the OBS position at the seafloor is critical to know yet hard to determine to within 200 m or less. Acoustic ranging of the OBS proved to be inconclusive or even impossible in case of *Polarstern* whose noise prevents receiving the acoustic signals. Active seismic profiling allowed us to determine the real OBS position which turned out to differ significantly from deployment and recovery position. During the interdisciplinary cruise ANT-XXIX/8, we stayed in the survey area for an extended time period and could wait for suitable conditions for safe OBS recovery. For future surveys in stormy areas and for routine use in sea ice, however, tracking of the OBS during ascent is necessary to exactly know the surfacing position warranting safe recovery.

For our test deployment in sea ice, we conceived a head buoy that is fixed to the OBS and only released upon recovery. This avoids entangling of the buoy and the winch cable. We added additional weight to the OBS and winched it to the seafloor. A Posidonia buoy on a 100 m line was attached to the OBS. It hangs down from the OBS once it ascends and its absolute position can readily be tracked during ascent until the OBS surfaces even if it gets stuck under an ice floe. In our test, the Posidonia buoy imploded after reaching the seafloor, but the OBS could be ranged acoustically during ascent and was safely recovered in a pond of open water. For future deployments in stormy waters and sea ice, a light-weight Posidonia transponder that can be set to sleep mode would be a desirable addition to the DEPAS instruments.

A first inspection of the data showed that the ice-covered Arctic Ocean has very low noise levels due to the lack of ocean swell, while especially the Southern Ocean displays considerable noise at periods of 0.5s-8s.

Titel des Posters:

Seismizität und Krustenstruktur eines amagmatischen Segments des Südwestindischen Rückens. Erste Ergebnisse eines Langzeit OBS-Experiments.

Autoren:

Florian Schmid¹ & Vera Schlindwein¹

¹Alfred Wegener Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven

Die Untersuchung lokaler Seismizität an Mittelozeanischen Rücken erlaubt es uns, tektonische, vulkanische und hydrothermale Aktivität in diesen unzugänglichen Regionen der Tiefsee sichtbar zu machen. So erhalten wir die Möglichkeit die Prozesse der Bildung ozeanischer Kruste quasi *in situ* zu beobachten. Der Südwestindische Rücken (SWIR) ist charakterisiert durch besonders langsame Spreizungsraten, welche eine verminderte Schmelzbildung und schnelles Abkühlen der Kruste mit zunehmender Entfernung zur Rückenachse mit sich bringen. Bis jetzt sind die Prozesse welche zur zeitlichen und räumlichen Entwicklung von vulkanischen Zentren sowie der Segmentierung des Rückens in magmatische („heiße“) und amagmatische („kalte“) Segmente führen wenig erforscht und nur teilweise verstanden. In den stürmischen Breiten der *Furious Fifties*, haben wir bei 13°E ein Array aus 10 Ozeanbodenseismometern (OBS) in einem amagmatischen Segment des SWIR installiert um für 12 Monate die lokale Seismizität aufzuzeichnen. Während der Expedition ANT-29/8 mit *PFS Polarstern* im Herbst 2013 wurden 5 kurze refraktionsseismische Profile über das Array geschossen und anschließend konnten 9 der Geräte geborgen werden. Erste Lokalisierungsergebnisse lokaler Erdbeben deuten auf verstärkte Seismizität im Riffthal hin. Die Seismizitätsrate ist dabei signifikant geringer als jene um einen Vulkan Komplex weiter östlich am SWIR, wo im gleichen Zeitraum ein vergleichbares Experiment durchgeführt wurde (Siehe Abstrakt von J.-R. Scholz et al.). Erste Modellierungen der refraktionsseismischen Profile zeigen eine rasche Zunahme der P-Wellengeschwindigkeiten nahe der Oberfläche und Reflektionen von der Moho deuten auf sehr geringe Krustenmächtigkeiten hin.

Titel des Vortrages:

Lokale Seismizität am magmatischen Segment-8 des ultralangsam spreizenden Südwestindischen Ozeanrückens

Autoren:

John-Robert Scholz¹ & Vera Schlindwein¹

¹Alfred Wegener Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven

Entlang der durch alle Weltmeere verlaufenden Mittelozeanischen Rücken spreizen die Lithosphärenplatten auseinander, jährlich entsteht so $\sim 18 \text{ km}^3$ neuer Ozeanboden. Der Südwestindische Ozeanrücken (SWIR), Grenze zwischen Antarktischer und Afrikanischer Platte, spreizt ultralangsam mit einer vollen Spreizungsrate von $\sim 14 \text{ mm/a}$ (bei 64°E , 28°S). Besonders langsame Spreizungsraten führen zu einer verminderten Schmelzbildung. Beobachtungen zeigen, dass der SWIR in Segmente eingeteilt werden kann, in denen magmatische Prozesse dominieren und Segmente deren Spreizung größtenteils amagmatisch verläuft. Ein Mechanismus zur Erklärung der alternierenden Schmelzmengen entlang der Riftachse wurde postuliert, konnte jedoch experimentell bisher nicht nachgewiesen werden. Im Rahmen der Expedition M101 mit der *FS Meteor* im Herbst 2013, wurden 57 Ozeanbodenseismometer (OBS) geborgen, welche die Seismizität über einen Zeitraum von 13 Monaten aufzeichneten. 90 GB an Daten von einem aus 8 OBS bestehendem lokalen Netzwerk wurden von uns analysiert. Aus 6.288 Ereignissen konnten wir mit HYPOSAT 479 lokale Erdbeben mit Hilfe eines 1-D Geschwindigkeitsmodells lokalisieren. Korrekturwerte für die Abweichungen der OBS-Uhren wurden mittels Kreuzkorrelationen des Hintergrundrauschens (ambient noise cross-correlations) bestimmt. Unsere Ergebnisse liefern zum ersten Mal eindeutige Hinweise auf eine ausgeprägte Topographie der Lithosphären-Asthenosphären-Grenze, an der Schmelzen hin zu vulkanischen Zentren fließen könnten. Wir zeigen, dass am magmatischen Segment-8 des SWIR Erdbeben bis zu einer Tiefe von 17 km unter dem Meeresboden auftreten. Zum vulkanischen Zentrum verflachen die Hypozentren, direkt unter dem Vulkan beobachten wir eine ausgeprägte seismische Lücke mit einer Breite von $\sim 20 \text{ km}$. Wir bestätigen die Vermutung, dass die Lithosphäre kalt, dick und spröde ist. Die Ergebnisse zeigen, dass lokale Studien zur Seismizität einen wichtigen Beitrag leisten können um tektonische, magmatische und hydrothermale Prozesse entlang ultralangsam spreizender Rücken nachhaltig zu untersuchen und zu verstehen.

The uncertainty of seismic point source solutions and their influence on waveform tomography

Simon Stähler (LMU München), Kasra Hosseini (LMU München) und Karin Sigloch (University of Oxford)

Abstract:

A point source is the most basic description of an earthquake source mechanism. While too simplistic for the largest earthquakes, it is considered a pragmatic and satisfactory approximation for intermediate-sized earthquakes, especially in sparsely instrumented areas, or when large numbers of source solutions are to be processed in an automated fashion.

Seismic waveform tomography requires a large number of point source solutions in order to infer earth structure. We implemented a probabilistic inversion for depth, moment tensor and the source time function, and estimate the propagation of source uncertainty into finite-frequency travel-time estimates.

We show that source uncertainty affects waveform tomography in unexpected ways, compared to classical ray-based tomography. These findings motivate a more detailed treatment of the effects of source uncertainty in seismic waveform tomography.

Einfluss von Windkraftanlagen auf seismologische Messungen

Klaus Stammler, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover

Durch den in den letzten Jahren verstärkt betriebenen Ausbau von Windkraftanlagen kam es an einigen Standorten des Gräfenberg-Arrays zu Störeinflüssen unterschiedlichen Ausmaßes. Diese Störsignale wurden systematisch untersucht und deren Nachweise als Begründung für ablehrende Stellungnahmen der BGR bezüglich neu zu errichtender Anlagen verwendet. Die Motivation für den in aktuellen Stellungnahmen von der BGR geforderten Mindestabstand von 5 km von Windkraftanlagen zu den seismologischen Messstationen des GRF-Arrays wird anhand von spektralen Darstellungen aufgezeigt. Die Verschlechterung des Rauschniveaus wird an Beispielen mit verschiedenen Abstandsverhältnissen demonstriert. So ergibt sich bei drei Anlagen im Abstand von einem bis eineinhalb Kilometer eine durchschnittliche Erhöhung des Rauschniveaus um bis zu einem Faktor 75 im PSD-Spektrum (abhängig vom Frequenzbereich) und dementsprechend um etwa einen Faktor 9 im Amplitudenspektrum.

Echtzeit-Kreuzkorrelationsdetektor für mikroseismische Überwachung in SeisComP3

Margarete Vasterling¹, Ulrich Wegler¹, Jan Becker², Monika Bischoff^{1,3}, Andrea Brüstle⁴

¹ BGR, ² gempa GmbH, ³ jetzt beim LBEG, ⁴ LGB-RLP

Im Umfeld tiefengeothermischer Kraftwerke kann es zum Auftreten induzierter Seismizität kommen. In Deutschland wurde dies beispielsweise in Unterhaching in der bayrischen Molasse und an den beiden Kraftwerken Landau und Insheim im Oberrheingraben beobachtet. Im Rahmen des vom BMWi geförderten Projekts MAGS (FKZ 0325191A-F) wurde die seismisch kontrollierte Zirkulation als Konzept zur Begrenzung der mikroseismischen Aktivität geothermischer Systeme entwickelt. Im Nachfolgeprojekt MAGS2 (FKZ 0325662A-G) wird dieses nun auf komplexe Geothermiefelder erweitert.

Hierbei ist es entscheidend, dass auftretende mikroseismische Ereignisse schnell detektiert und zuverlässig dem geothermischen Reservoir zugeordnet werden können. Herausforderungen sind dabei, dass Geothermiekraftwerke nahe den Abnehmern von Strom und Wärme gebaut werden, so dass die Standorte des Beobachtungsnetzes seismisch sehr unruhig sind. Zudem sind Ereignisse von sehr kleiner Magnitude und hoher Frequenz relevant. Klassische STA/LTA-Trigger arbeiten hier nicht zuverlässig genug, so dass wir einen Echtzeitdetektor basierend auf Kreuzkorrelation entwickelt haben. Hier nutzen wir aus, dass Ereignisse, die etwa den gleichen Herdort und –mechanismus haben, eine sehr ähnliche Wellenform aufweisen. Um auch eine ausreichende Ähnlichkeit zwischen Erdbeben mit leicht unterschiedlichen Lokationen und Herdmechanismen zu gewährleisten, verwenden wir für die Korrelation Seismogrammeinhüllende an Stelle von Wellenformen. Wir vergleichen die in Echtzeit übertragenen Daten mit bekannten Musterereignissen. Dabei wird für alle Musterereignisse die Kreuzkorrelation für alle verwendeten Stationen berechnet und in einem ersten Schritt der Korrelationskoeffizient spurweise ausgewertet. Überschreitet dieser an einem definierten Prozentsatz von Spuren und Stationen einen Schwellwert, wird zusätzlich der Netzkorrelationskoeffizient berechnet. Ist dieser ebenfalls größer als der entsprechende Schwellwert, wird eine Detektion ausgelöst. Dem Ereignis wird der Herdort des ähnlichsten Musterereignisses zugeordnet. Die Herdzeit wird aus der Herdzeit des entsprechenden Musterereignisses bestimmt. Da für das sehr lokale Netz die klassische Lokalmagnitude nicht sinnvoll definiert ist und bei dieser auch die Herdtiefe nicht berücksichtigt wird, bestimmen wir die Magnitude über das Amplitudenverhältnis zwischen Musterereignis und detektiertem Ereignis.

Der Detektor wurde im Playback-Modus gegen den manuellen Katalog der KIT für die Region um die Kraftwerke Landau und Insheim verglichen, um sowohl Vollständigkeit als auch Genauigkeit der Magnitude zu prüfen. Es zeigt sich, dass sich die Magnituden zwischen beiden Katalogen keinen magnitudenabhängigen, sondern lediglich einen konstanten Unterschied von 0,26 aufweisen. Nach der Korrektur um diesen konstanten Magnitudenoffset sind ab einer Magnitude von 0,4 beide Kataloge identisch, produziert der Echtzeitkorrelationsdetektor also keine Fehl- oder verpassten Detektionen.

Seit Anfang 2014 läuft der Detektor im Echtzeit-Modus mit je einem Musterereignis aus Insheim, Landau und dem benachbarten Steinbruch Waldhambach. Die Detektionen mit Herdzeit, Herdort und Magnitude werden automatisch per Mail versendet. Anschließend findet eine manuelle Lokalisierung beim Landeserdbebendienst Rheinland-Pfalz statt.

Der Detektor ist als Modul in SeisComP3 (Seattle-Version) implementiert und soll nach Abschluss der Lizenzfrage als Open-Source-Code zur Verfügung gestellt werden.

Automatic earthquake source imaging by iterative deconvolution and stacking (IDS) of high-rate GPS and strong-motion seismograms

Rongjiang Wang^{1*}, Yong Zhang^{1,2}, Jochen Zschau¹, Yun-tai Chen^{2,3}, Stefano Parolai¹ and Torsten Dahm¹

¹GFZ German Research Centre for Geosciences, D-14473 Potsdam, Germany

²School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China

³Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China

*Corresponding to wang@gfz-potsdam.de

By combining the complementary advantages of conventional inversion and back-projection methods, we have developed an iterative deconvolution and stacking (IDS) approach for imaging earthquake rupture processes with near-field complete waveform data. This new approach does not need any manual adjustment of the physical (empirical) constraints, such as restricting the rupture time and duration, smoothing the spatiotemporal slip distribution, etc., and therefore has the ability to image complex multiple ruptures automatically. The advantages of the IDS method over traditional linear or non-linear optimization algorithms are demonstrated by the case studies of the 2008 Wenchuan, 2011 Tohoku and 2014 Pisagua-Iquique earthquakes. For such large earthquakes, the IDS method is considerably more stable and efficient than previous inversion methods. Additionally, the robustness of this method is demonstrated by comprehensive synthetic tests, indicating its potential contribution to tsunami and earthquake early warning and rapid response systems. It is also shown that the IDS method can be used for teleseismic waveform inversions. For the two major earthquakes discussed here, the IDS method can provide, without tuning any physical or empirical constraints, teleseismic rupture models consistent with those derived from the near-field GPS and strong-motion data.

Echtzeitberechnung der Auftretswahrscheinlichkeit eines induzierten Erdbebens mit Magnitude größer einer vorgegebenen Magnitude bei hydraulischen Stimulationen

Ulrich Wegler¹, Margarete Vasterling¹, Jan Becker², Carsten Dinske³

¹ BGR, ² gempa GmbH, ³ FU Berlin

Im Umfeld tiefengeothermischer Kraftwerke kann es zum Auftreten induzierter Seismizität kommen. In Deutschland wurde dies beispielsweise in Unterhaching in der bayrischen Molasse und an den beiden Kraftwerken Landau und Insheim im Oberrheingraben beobachtet. Um die Seismizität bei hydraulischen Stimulationen zu begrenzen, haben wir im Rahmen des vom BMWi geförderten Projekts MAGS (FKZ 0325191A-F) das Konzept der kontrollierten Stimulation weiterentwickelt. Hierzu werden durch seismisches Monitoring auch kleinste induzierte Erdbeben weit unterhalb der Spürbarkeitsgrenze erfasst. Anhand der bereits aufgetretenen Mikrobeben kann dann die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten stärkerer Erdbeben abgeschätzt werden. Die berechneten Wahrscheinlichkeiten können in einem Reaktionsschema mit akzeptablen Grenzwerten verglichen werden, um beim Überschreiten Gegenmaßnahmen wie eine Reduktion der Fließrate oder einen Stopp der hydraulischen Stimulation einzuleiten.

In bisher üblichen Reaktionsschemen wird zur Abschätzung der seismischen Gefährdung meist nur die Magnitude oder Bodenschwinggeschwindigkeit des stärksten bisher aufgetretenen Erdbebens berücksichtigt. Bei den hier entwickelten Methoden zur automatischen Echtzeitberechnung der Auftretswahrscheinlichkeit für Erdbeben einer unerwünschten, stärkeren Magnitude wird die bisher detektierte Mikro-seismizität statistisch analysiert. Für den in Echtzeit erzeugten Erdbebenkatalog wird die Vollständigkeitsmagnitude, der b-Wert der Gutenberg-Richter-Beziehung sowie der sogenannte „seismogene Index“ Σ bestimmt. Diese drei Größen werden beim Auftreten weiterer induzierter Erdbeben automatisch aktualisiert. Unter Verwendung der ebenfalls in Echtzeit einlaufenden hydraulischen Daten der Stimulation kann daraus die weitere Entwicklung der Seismizität vorausberechnet werden. Hieraus ergibt sich die Auftretswahrscheinlichkeit für ein Erdbeben, das eine vorgegebene kritische Magnitude überschreitet. Dieser Wert wird ständig neu berechnet und kann in einem „Ampelschema“ mit vorgegebenen Grenzwerten verglichen werden. Neben der Fortsetzung der Stimulation wird auch der Fall eines sofortigen Endes der Stimulation betrachtet. Hier ergibt sich die Auftretswahrscheinlichkeit aus dem modifizierten Omori-Gesetz. Die entwickelten Methoden wurden in das Programmpaket „SeisComp3“ integriert und mit einer graphischen Benutzeroberfläche versehen.

Die entwickelten Methoden zur Echtzeitgefährdungsabschätzung und das Ampelschema wurden an Hand der Daten aus dem Deep-Heat-Mining-Projekt (Basel, Oberrheingraben) getestet. Bei einem von uns gewählten Schwellwert von 60% für die Auftretswahrscheinlichkeit einer noch akzeptierten Magnitude von $M_L = 2,7$ springt die Ampel vier Stunden vor dem ersten realen Erdbeben mit $M_L = 2,7$ von grün auf gelb und knapp zwei Stunden vorher auf rot.

COOL: Crust of the Oman Ophiolite and its Lithosphere – a passive seismic experiment

Christian Weidle¹, Philippe Agard², Celine Ducassou³, Issa El-Hussain⁴, Cecile Prigent⁵, Thomas Meier¹

- 1) Department of Geosciences, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Germany
- 2) ISTE, University Pierre et Marie Curie Paris 6, France
- 3) German University of Technology, Muscat, Oman
- 4) Earthquake Monitoring Center, Sultan Qaboos University, Muscat, Oman
- 5) University Joseph Fournier, Grenoble, France

Plate tectonics has established a framework for geoscientists to understand most geologic/tectonic processes that shaped our present-day Earth. 'Obduction', the emplacement of young, dense oceanic lithosphere (ophiolites) on top of older lighter continental lithosphere remains, however, a rather odd phenomenon. Some ophiolites are fundamentally similar to young oceanic crust and it is hence assumed that they were obducted as thrust sheets at the onset of continental subduction in a previously intra-oceanic subduction setting.

The Peri-Arabic obduction corresponded to a spectacular, almost synchronous thrust movement along thousands of km from Turkey to Oman. At the eastern margin of the Arabian plate, the world's largest and best preserved ophiolite was emplaced in only a few My during Upper Cretaceous and is exposed today atop the Oman Mountain range. Although being the best studied ophiolite in the world, rather little is still known about the internal structure of the ophiolite and the Oman Mountains. The dimension of the ophiolite is large enough (~700 km) to be studied with seismological methods, providing thus a rare setting to investigate oceanic crust on land without ocean bottom installations.

The origin and emplacement of the ophiolites, as well as the shaping of topography in the Oman Mountains is closely linked to the southeast prograding continental collision between Arabia and Eurasia along the Main Zagros thrust front. Just North of the Oman Mountains, the collisional front is offset southwards by a major transpressional fault zone and continues eastwards as oceanic subduction along the Makran trench. The Makran subduction is fastly converging but, particularly its western part, anomalously aseismic. Detailed images of the crust-upper mantle below the eastern Arabian plate and the transitional zone from collision to subduction do not exist in this sparsely instrumented region.

We have deployed a network of 40 broadband seismometers across the Oman Mountains in Oct/Nov 2013 for passive seismic registration for a duration of ca. 15 months. The network is complemented by 10 permanent stations in the area operated by the Earthquake Monitoring Center in Oman.

Aims of the project include:

- Seismological imaging of the geometry and internal properties of obducted oceanic, and its underlying continental lithosphere.
- Regional tomographic velocity models will provide constraints on geodynamic processes that led to large scale obduction.
- Investigating the “quiet” Makran subduction zone for local seismicity will improve understanding of seismic hazard on the eastern Arabian plate.

Performance of an Optical Seismometer from 1 μ Hz to 10 Hz

Jon Berger⁽¹⁾, Pete Davis⁽¹⁾, Rudolf Widmer-Schnidrig⁽²⁾ und Mark Zumberge⁽¹⁾

(1) Institute of Geophysics and Planetary Physics, SIO, UCSD, San Diego, U.S.A.

(2) BFO, Institut für Geophysik, Universität Stuttgart

We compare the performance of three different instruments all measuring the vertical component of motion of an inertial mass— an STS1 seismometer, an optical seismometer, and a superconducting gravity meter — operating inside the mine at the Black Forest Observatory near Schiltach in southwest Germany. Simultaneous, collocated operation of these sensors offers an opportunity to test the response, the sensitivities, and the calibrations of each instrument. We estimate noise floors from the tidal bands to 10 Hz. We note small non-linearities in the suspension of the STS1, which are normally suppressed by analog signal processing and feedback, and in an optical seismometer by digital signal processing. The results demonstrate the optical seismometer utilizing an STS1 suspension can provide observatory-quality data over a bandwidth from DC to at least 10Hz and over a large dynamic range.

Studie zur Interpretierbarkeit von H- κ -Stacks von Receiver-Functions mit Datenbeispielen aus Zentraljava

I. Wölbern & G. Rümper

Goethe-Universität Frankfurt

Die indonesische Insel Java ist Teil des Sunda-Inselbogens, der durch starke Seismizität und aktiven Vulkanismus charakterisiert ist. Verschiedene zurückliegende Studien postulieren eine kontinentale Kruste unter den Sunda-Inseln, die bislang jedoch nur im Bereich Nordsumatras in einem refraktionsseismischen Profil direkt nachgewiesen wurde. Im Rahmen des MERAMEX-Projektes wurden in Zentraljava ca. 130 temporäre Stationen betrieben, die im Zeitraum von Mai bis Oktober 2004 kontinuierlich seismologische Daten aufgezeichnet haben. Tomografische Analysen des Datensatzes deuten auf eine starke Geschwindigkeitsanomalie innerhalb der Kruste (Merapi-Lawu-Anomalie) hin. Der Tiefenverlauf der Moho-Diskontinuität ist jedoch bis heute unbekannt und soll mit Hilfe einer Receiver-Function-Analyse unter Anwendung des H- κ -Stackings untersucht werden. Mäßige bis schlechte Datenqualität sowie die begrenzte Zahl nutzbarer Ereignisse machen die Interpretation jedoch zu einer schwierigen Aufgabe.

Daraus resultieren die Fragestellungen, wie leistungsfähig der Ansatz des H- κ -Stackings tatsächlich ist, inwieweit sich Prozessing- und Modellparameter auf die Ergebnisse auswirken und welche Probleme sich bei der Anwendung der Methode ergeben können. Wir haben anhand synthetischer Seismogramme die Einflüsse verschiedener Parameter (z.B. Slowness, Wichtung, Abstände zwischen Diskontinuitäten, Graduelle Übergänge) auf das Amplituden-Stacking und den daraus abgeleiteten Mohotiefen und v_p/v_s -Verhältnissen untersucht. Hierbei zeigt sich, dass bereits relativ einfach strukturierte Krustenmodelle zu artifiziellen Maxima und damit zu Fehlinterpretationen führen können. Die Erkenntnisse aus den Testreihen sollen schließlich auf den untersuchten Datensatz angewendet werden und dabei helfen Fehlinterpretationen zu vermeiden.

Using small instrumental arrays to record mofette acoustic signals: preliminary results on data analysis.

Josefine Umlauf¹, Hortencia Flores-Estrella¹, Michael Korn¹

¹Institute of Geophysics and Geology, Leipzig University, Talstrasse 35, 04103, Leipzig, Germany.

The NW Bohemia/ Vogtland region is characterized by currently ongoing geodynamic processes within the intracontinental lithospheric mantle. This activity results, among others, in the occurrence of earthquake swarms as well as CO₂ degassing zones, called mofettes. It is generally accepted that these two natural phenomena are related to each other, since movements of fluids and fluid-induced effective stress play an important role in triggering earthquake swarms.

However, at the Earth's surface they appear spatially separated. The main mofette area is located near Hartoušov and Bublák, about 10 km south of the Nový Kostel epicentral area; still, it is clear that transport channels allowing efficient and constant fluid transport within the crust have to exist. These pathways are neither understood nor have been imaged below or above the depth range of the swarm quake hypocenters. To investigate the structure and depth position of these pathways it is first needed to locate them.

Fluid flow can be considered as a source of continuous acoustic emissions, which can be located and characterized by the method *Matched Field Processing (MFP)* that uses a localization approach developed in ocean acoustics. We attempt to test this method within the NW Bohemia/ Vogtland mofette area, recording the acoustic signals produced by the degassing processes with small instrumental arrays.

We chose two different test sites: the South Hartoušov Mofette and the Dolní Částkov Borehole. We measured seismic noise in continuous mode over several hours, using an array of 30 randomly distributed stations that covered an area of about 1 ha. On the Dolní Částkov Borehole we measured in three different time periods (21.05., 16.07. and 27.08.2014) to analyse the possible changes on noise amplitude and direction, possibly related to seismic events occurrence.

Furthermore, to obtain the phase velocity of the study area (needed for the MFP analysis) we performed active seismic experiments with hammer blows as source. Vertical geophones ordered in ~70 m long profiles (2 NS- and 2 EW-oriented) were used.

We show and discuss preliminary results about the data analysis.