

**78. Jahrestagung der  
Deutschen Geophysikalischen  
Gesellschaft**

gemeinsam mit der

**Austrian Geophysical Society**

**12. - 15. Februar 2018**

**ISSN 0344-7251**

DOI 10.2312/dgg78

Deutsche Nationalbibliothek

Bibliographische Daten unter <http://d-nb.info/010965963/about/html>

Druck:

UNIVERSAL DRUCKEREI GmbH

Gösser Straße 11

A-8700 Leoben

# Abstracts

## Plenarvorträge

S1 Numerical Modelling	4
S2 Full Waveform Inversion	4
S3 Characterization of the vadose zone across scales	5
S4 Advances in Borehole Geophysics	6

## Sessions

S1 Numerical Modelling	7
S2 Full Waveform Inversion	11
S3 Characterization of the vadose zone across scales	18
S4 Advances in Borehole Geophysics	21
AG Archäogeophysik	22
BL Bohrlochgeophysik	34
DL Didaktik/Lehre	39
EM Elektromagnetik/Georadar	46
EP Extraterrestrische Physik	54
GD Geodynamik	55
GE Geoelektrik/IP	56
GO Geophysik in der Öffentlichkeit	66
GR Gravimetrie	68
GS Geschichte der Geophysik	69
GT Geothermie/Radiometrie	70
MA Magnetik/Erdmagnetismus	77
MG Marine Geophysik	80
SM Seismik	86
SO Seismologie	102
UI Umwelt- und Ingenieurgeophysik	133
VU Vulkanologie	152

# Plenarvorträge

## S1 Numerical Modelling

### S1.PV

#### **Geophysical modelling strategies in the Exascale era**

*J. de la Puente*

BSC, Barcelona, Spain

Geophysical modelling lies at the very core of many geophysical studies. Modelling is used to refute assumptions, to understand complex observations and, ultimately, as the building block of inversion algorithms. Although the compute power available nowadays to any researcher was unthinkable of a few decades ago, modern compute systems are becoming more complex and hence new strategies must be sought in order to attain performance. Exaflop computers (a trillion of trillions operations per second) are predicted to appear as early as in 2020, but they are likely to bear little resemblance to a conventional workstation. On the other hand, such tremendous compute power opens the possibility of attempting studies never carried out before. Among these are obtaining multi-dimensional (i.e. parametric) solutions to large geophysical problems, uncertainty quantification or using machine learning to guide geophysical inversion.

We will explore the road ahead in terms of hardware and programming paradigms and the opportunities brought to the geophysical community by external yet contemporary developments such as artificial intelligence, cloud computing and low-energy processors. Furthermore we will delve on the future of high-performance computing and how to avoid obsolescence both as a user and as a developer of geophysical applications.

## S2 Full Waveform Inversion

### S2.PV

#### **Efficient 3D elastic FWI using a spectral-element method on deformed Cartesian-based mesh**

*P. Trinh<sup>1, 2</sup>, R. Brossier<sup>1</sup>, L. Métivier<sup>1, 3</sup>, L. Tavard<sup>1, 4</sup>, J. Virieux<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Univ. Grenoble Alpes, ISTerre, Grenoble, France, <sup>2</sup>TOTAL EP, Pau, France, <sup>3</sup>CNRS, LJK, Grenoble, France, <sup>4</sup>Univ. Grenoble Alpes, GRICAD, Grenoble, France

Full Waveform Inversion offers the possibility to extract high-resolution quantitative multi-parameters models of the subsurface from seismic data. These observed data in the Earth honors wave propagation physics. Heretofore, most of FWI applications at the crustal scale have been performed under the acoustic approximation, generally for marine environments. When considering challenging land problems, efficient strategies are required for moving toward elastic inversion. We present such approach for 3D elastic time-domain inversion, based on spectral element methods designed on deformed cartesian-based meshes. The proposed workflow integrates an easy and accurate cartesian-based mesh building with

high-order shape functions to capture rapid topography variations and an efficient workflow for the incident and adjoint fields computation. This mesh design makes this finite-element approach frugal on computer resources as for finite-difference methods. A nonstationary and anisotropic structure-oriented smoothing filter is implemented directly on the spectral element mesh, for preconditioning FWI by incorporating prior geological information such as coherent lengths, dip and azimuth angles. Regularization could be handled the same way.

Numerical illustrations on Marmousi and SEAM II benchmarks illustrate the importance of each ingredient we have developed for making efficient and flexible elastic FWI for land applications.

## S3 Characterization of the Vadose Zone Across Scales

### S3.PV

#### **Sub-surface sensing of the unsaturated soil zone by spaceborne radar instruments**

***W. Wagner***

TU Wien, Department für Geodäsie und Geoinformation, Wien, Austria

Spaceborne radar instruments such as Synthetic Aperture Radars (SARs) and scatterometers send short microwave pulses towards the Earth's surface and measure the amplitude (and phase) of the backscattered echoes. When impinging on wet soil surfaces, the microwave pulses penetrate only a few millimetres to centimetres into the soil, hence the dominant scattering mechanisms is surface scattering. However, when the soil is dry, the penetration depth can be several decimetres or maybe even larger.

In such a situation, sub-surface scattering mechanisms may also substantially impact the backscattered waves. The existence of sub-surface scattering features in SAR imagery acquired over desert regions is well known since the early days of radar remote sensing. However, there is very little understanding of how these features vary in time and space. A particularly interesting question is if sub-surface scattering also occurs in semi-arid and humid environments during dry periods? Potentially, this would provide a new means to map soil properties over large regions. In this presentation I will give an overview of the state-of-the art of our understanding of sub-surface scattering phenomena as observed by SAR and scatterometer systems, and show results from our work with ASCAT and Sentinel-1, two operational C-band radar systems capable of monitoring the land surface with a high temporal frequency. Our results suggest that sub-surface scattering phenomena are not limited to desert environments, but may also occur in other climate regions under certain, presently only poorly understood circumstances. These results may help to design new experiments and theoretical efforts to gain a better understanding of this weak but nonetheless consistent phenomenon.

## S4 Advances in Borehole Geophysics

### S4.PV

#### **Bio Enhanced Energy Recovery (BEER®) – The Novel Fracturing Technology**

**H. Hofstätter**

Montanuniversität Leoben, Department of Petroleum Engineering, Leoben, Austria

The concept of „Bio Enhanced Energy Recovery – BEER®“ is a new fracking technology which has been developed at Montanuniversität Leoben - Chair of „Petroleum and Geothermal Energy Recovery“. The new fracking method is 100% environmentally compatible and compared to state of the art technology even more cost effective.

During the fracking process hydraulic energy is applied onto the sandface of the reservoir rock in order to exceed the rock strength and thereby creating an artificial frac which finally is filled by proppants to keep the frac open. The frac provides now an ideal flow path for hydrocarbons or even geothermal water.

In order to understand the in situ stress regime which governs the trajectory of the frac comprehensive borehole informations are mandatory for job planning. Microseismic surveys will help to monitor the frac direction and extension.

# Sessions

## S1 Numerical Modelling *Vorträge*

### S1-01

#### **Untersuchungen zur Genauigkeit von Finite-Differenzen-Simulationen für die Tunnelvorauserkundung mittels Seismik**

***O. Hellwig, S. Buske***

TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg

Um potentielle Gefahren beim maschinellen Tunnelvortrieb wie Gesteinseinheiten mit verminderter Standfestigkeit oder wasserführende Schichten rechtzeitig zu erkennen, bieten sich seismische Vorauserkundungsverfahren an. Das gewonnene Strukturabbild kann genutzt werden, um den Vortrieb auf die geologischen Gegebenheiten abzustimmen. Numerische Simulationen liefern bei der Entwicklung und Verbesserung dieser Vorauserkundungsverfahren einen Beitrag zum Verständnis der seismischen Wellenausbreitung. Zu diesem Zweck werden zwei Finite-Differenzen-Verfahren (FD-Verfahren) vorgestellt. Einem Verfahren liegt ein 3D kartesisches Gitter zugrunde, während das zweite Zylinderkoordinaten verwendet.

Die Genauigkeit von FD-Simulationen wird vor allem durch zwei Faktoren beeinflusst. Einerseits hängt die Phasengeschwindigkeit einer Welle im FD-Modell von der räumlichen Abtastung der Wellenlänge und von der Courant-Zahl ab. Diese Abhängigkeit wird als Gitterdispersion bezeichnet. Nur bei Verwendung eines hinreichend fein abgetasteten Gitters ist dieser Effekt vernachlässigbar. Andererseits ergeben sich beim Abtasten der Modellgeometrie Diskretisierungsfehler. So wird die gekrümmte Tunnelwand durch das kartesische Gitter mit Stufen approximiert, die Artefakte hervorrufen können. Analytische Referenzlösungen zur Überprüfung der Genauigkeit der FD-Lösungen stehen nur für stark vereinfachte Modellgeometrien zur Verfügung. Deshalb wird die Genauigkeit der beiden FD-Verfahren mit Hilfe von Konvergenztests untersucht, bei denen das Gitter sukzessive verfeinert wird. Damit nähert sich die numerische Lösung beider FD-Verfahren an die exakte Lösung der Wellengleichung für das Tunnelmodell an. Es zeigt sich, dass vor allem die korrekte Darstellung von geführten Wellen an der Tunnelwand mit dem 3D kartesischen Gitter eine sehr feine Abtastung erfordert, die mit einem unverhältnismäßig hohen Rechenaufwand und Speicherbedarf verbunden ist. Eine weitere Verfeinerung des FD-Gitters ist nur mit dem auf Zylinderkoordinaten basierenden Verfahren möglich, das die Symmetrie des Tunnels bezüglich der Tunnelachse ausnutzt. Das Wellenfeld lässt sich mit Hilfe einer Fourierreihenentwicklung bezüglich des Azimutwinkels in eine Serie von Zylinderwellen der Ordnung  $n$  zerlegen. Für die Approximation des Wellenfeldes in der Umgebung des Tunnels sind nur wenige niedrige Zylinderwellenordnungen nötig, wodurch sich der Rechenaufwand gegenüber dem kartesischen Gitter deutlich reduziert.

## **S1-02**

### **A novel 3D magnetotelluric forward modeling algorithm**

**J. Wittke, B. Tezkan**

Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie, Köln

We present a novel direct three-dimensional meshless modeling algorithm for geophysical electromagnetic problems. This formulation uses the well known Coulomb gauged, coupled, magnetic vector and electric scalar decomposition. Assuming a divergence free magnetic vector potential, we recast the commonly used curl-curl equation into a set of four weakly coupled scalar differential equations. These fields are smooth throughout the entire domain, even in the presence of material discontinuities. This makes the decomposition well suited for a meshless discretization approach. To derive a discretization on a given point cloud, we apply a novel direct meshless approach. The partial differential equations are written as a set of linear functionals and approximated utilizing the well-known moving least square procedure. Here, the amount of work is shifted to simple polynomials. Thus, no shape functions are needed to create a discretization. We use this kind of approximation to discretize the strong formulation of partial differential equations. The resulting unsymmetrical sparse linear system is solved with a parallel, iterative Krylov subspace method. We present the mathematical formulation and example calculations. Transfer functions will be presented, calculated from three-dimensional conductivity distributions using the newly developed algorithm. After comparing the results with calculations from existing algorithms, the scalability and performance of this formulation will also be discussed during the presentation.

## **S1-03**

### **3D TEM Forward Modelling including Topography**

**C. Ader<sup>1</sup>, K. Spitzer<sup>1</sup>, R.-U. Börner<sup>1</sup>, M. Hort<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, <sup>2</sup>Universität Hamburg, Institut für Geophysik, Hamburg

Volcanic activity as a natural hazard is a threat to life and infrastructure. Hence, investigation and monitoring of volcanoes is crucial in mitigating volcanic risk. Such mitigation measures are based on a solid understanding of volcanic processes, especially those occurring prior to an eruption. In this regard, processes inside volcanic conduits are of prime interest as they control the final rise of magma prior to an eruption. However, monitoring such processes is challenging as direct measurements inside volcanic conduits are impossible.

Strombolian activity is characterized by moderate explosions within regular intervals. According to the common theory, these eruptions are driven by gas slugs which rise inside the conduit and burst at the magma air interface. These slugs measure some meters in diameter but up to several tens of meters in length. The conductivity contrast from magma to gas is considerably large and therefore could be imaged using electromagnetic methods. The transient electromagnetic method (TEM) aims for a wide range of penetration depths. In order to verify whether it is capable of imaging changes in conductivity within a volcanic edifice we will simulate TEM measurements on a 3D model of Stromboli volcano including



real topography and features inside the volcanic building.

We present our simulation workflow, which consists of a modelling sequence and a simulation routine. Furthermore, we demonstrate the effect of topography on TEM measurements on preliminary results.

## **S1-04**

### **Numerical simulation of fracture/interface waves using the displacement discontinuity model**

***T. Möller, W. Friederich***

Ruhr-Universität Bochum, Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik, Bochum

It is well known that in an elastic medium special waves may occur at internal or external boundaries. Among them are Stonley waves at welded interfaces between two different materials, Rayleigh waves at free surfaces and Love waves in surface layers.

A different type of elastic interface waves, which propagate along fractures (on both sides) in homogeneous media, was theoretically introduced by Pyrak-Nolte & Cook in 1987 using the displacement discontinuity model by Schoenberg (1980) and experimentally measured in an aluminium cylinder with an artificial fracture by Pyrak-Nolte et al in 1992.

Two distinctly different interface waves exist, called fast and slow, or symmetrical or anti-symmetrical. The velocity of each wave is bounded by the shear-wave and the Rayleigh wave velocity of the surrounding medium. Using the displacement discontinuity model as a boundary condition for in-plane motion (P- SV-waves), Gu et al. (1996) found that the velocity of the fast interface wave is independent of the tangential compliance and that the velocity of the slow interface wave is independent of the normal compliance of the fracture. Using the fracture as symmetry plane, the particle motion of the fast interface wave is symmetric with respect to tangential displacement and antisymmetric with respect to normal displacement. For the slow interface wave, the particle motion is symmetric with respect to normal displacement and antisymmetric with respect to tangential displacement.

We present numerical simulations of these waves performed by our own nodal discontinuous Galerkin code “NEXD”, where fractures are included as a boundary condition to the elastic wave equation using Schoenberg's displacement discontinuity model. The numerical calculations show that the dominating frequency of the interface waves highly depends on the compliances of the fracture and is generally lower than the dominating frequency of the source wavelet. Furthermore, we show that these waves have the potential to become a tool for a more detailed characterisation of fractures and fracture systems.

# S1 Numerical modelling A1 – Poster A

## S1-P-01

### **A nodal discontinuous Galerkin approach to 3D viscoelastic wave propagation in complex geological media**

**L. Lambrecht, A. Lamert, W. Friederich, T. Möller, M. S. Boxberg**

Ruhr-Universität Bochum, Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik, Bochum

A nodal discontinuous Galerkin approach (NDG) is developed and implemented for the computation of viscoelastic wave fields in complex geological media. The NDG approach combines unstructured tetrahedral meshes with an element-wise, high-order spatial interpolation of the wave field based on Lagrange polynomials. Numerical fluxes are computed from an exact solution of the heterogeneous Riemann problem.

Our implementation offers capabilities for modeling visco-elastic wave propagation in one, two and three-dimensional settings of very different spatial scale with little logistical overhead. It allows the import of external tetrahedral meshes provided by independent meshing software and can be run in a parallel computing environment. Computation of adjoint wavefields and an interface for the computation of waveform sensitivity kernels are offered. The method is validated in two and three dimensions by comparison to analytical solutions and results from a spectral element method. The capabilities of the NDG-method are demonstrated through a 3D example case taken from tunnel seismics which considers high-frequency elastic wave propagation around a curved underground tunnel cutting through inclined and faulted sedimentary strata.

The NDG-method was coded into the open-source software package NEXD and is available on GitHub: <https://github.com/seismology-RUB>

## S1-P-02

### **3D transient electromagnetic modeling for an arbitrarily anisotropic earth**

**Y. Liu<sup>1, 2</sup>, X. Hu<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>China University of Geoscience, Wuhan, China, <sup>2</sup>Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie, Köln

Transient electromagnetic methods (TEM) have been extensively used in environmental and engineering investigations, mineral and geothermal resource explorations. Electrical anisotropy of formations has been well recognized for sedimentary basins. In order to investigate the influence of formation anisotropy on the transient electromagnetic responses, we present a robust forward modeling algorithm for simulating TEM responses for different type of source in an arbitrarily 3D anisotropic conductive medium. The time domain Maxwell's equations are used as the governing equations, and then discretized in space domain by using a finite volume (FV) method, and by using the backward Euler method in time domain. To allow for better computational savings, a time-step doubling scheme coupled with the direct solver MUMPS are employed. The accuracy of the algorithm is validated against quasi-analytic solutions for 1D anisotropic layered model. Several

numerical calculations for 3D conductivity models characterized with different types of electrical anisotropy demonstrate that TEM responses can be strongly influenced at the presence of specific formation anisotropy.

### **S1-P-03**

#### **Numerische Untersuchungen zu Permeabilitätsänderungen durch reaktiven Transport in Fluid-Gestein-Systemen geothermischer Reservoirs**

**D. Hiller<sup>1</sup>, M. W. Wuttke<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Leibniz Universität Hannover, Hannover, <sup>2</sup>Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Hannover

Der Wirkungsgrad einer geothermischen Anlage wird wesentlich durch die Permeabilität im Umfeld der Injektions- und Produktionsbohrungen bestimmt. Diese wiederum wird durch Lösungs- und Ausfällungsprozesse bei der Wechselwirkung des zirkulierenden Fluids mit dem Wirtsgestein verändert. Eine Vielzahl von hydrogeothermischen Reservoirs in Deutschland, wie zum Beispiel das Norddeutsche Becken oder das Süddeutsche Molassebecken, besitzen ablagerungsbedingt relativ hohe Salzgehalte. In diesem Zusammenhang spielen besonders die Minerale Calcit und Halit eine wichtige Rolle. Innerhalb der Reservoirs liegen diese als Hauptgemengteil der Gesteinsmatrix oder als porenausfüllender Zement vor.

In dieser Arbeit kommen mathematische Modelle zum Einsatz, welche sich speziell mit dem Lösungs- und Ausfällungsverhalten von Calcit und Halit befassen. Diese mathematischen Modelle werden mit Hilfe der C++-Klassenbibliothek *oops!* gelöst. Es werden verschiedene Szenarien vorgestellt, um die Entwicklung der Permeabilität durch reaktive Transportprozesse zu untersuchen.

Die beiden Mineralsysteme unterscheiden sich stark in ihrem Lösungsverhalten. Calcit lässt sich besonders gut in kalten, verdünnten Säuren lösen, wohingegen die Löslichkeit von Halit mit steigender Temperatur zunimmt. Die Lösung und Ausfällung dieser Minerale werden hier überwiegend durch die Temperatur gesteuert, der pH-Wert und CO<sub>2</sub>-Partialdruck werden vernachlässigt. Durch Vorgabe eines neutralen pH-Wertes fällt die Reaktionsrate für Calcit deutlich geringer aus als die für Halit.

Die vorgestellten numerischen Modelle stellen einen ersten Schritt auf dem Wege zu einem Prognosetool für den Betrieb einer geothermischen Anlage dar.

## **S2 Full Waveform Inversion Vorträge**

### **S2-01**

#### **Seismic exploration in mechanized tunneling using full waveform inversion**

**A. Lamert, W. Friederich**

Ruhr-Universität Bochum, Bochum

We present a numerical application of full waveform inversion for the exploration of small and large scale geological structures in mechanized tunneling environments. By analyzing actively excited seismic waves illuminating the soil in front of the tunnel boring machine,

we image unknown disturbances of soil properties along the tunnel track. Owing to the lack of field data, we explore synthetic test models containing exemplary disturbances of the soil where real seismic recordings are replaced by synthetically ones solving the (an)elastic wave equation. The solution of the forward problem is obtained by the Nodal Discontinuous Galerkin method using a mesh of triangular or tetrahedral elements allowing for an easy modelling of complex geologies. Beginning with a starting model, sensitivity kernels based on the adjoint wave field and an iterative L-BFGS scheme are used to reconstruct the synthetic test models by minimizing the misfit between measurements and model predictions.

Our method can reconstruct inhomogeneities of the spatial distribution of P and S wave velocities which represent obstacles in the tunnel track as well as large geological structures. The imaging process is stabilized by a multiscale approach where the frequency content of the recordings is successively extended with the number of iterations. The quality of the resulting model strongly depends on the used receiver and source positions and increases significantly with the use of transmitted waves. Transmitted waves lead to clearly identified structure and position of the obstacles and give satisfactory estimates for the wave speed. Setups using only reflected waves result in blurred objects and ambiguous positions of distant objects and only allow to distinguish heterogeneities with higher or lower wave speed, respectively. Incorporating viscoelastic attenuation of the surrounding bedrock does not compromise the capability of detecting large scale objects as long as the low frequency content of the sources is used.

## **S2-02**

### **Mitigating cycle-skipping with cross-correlation misfit: a realistic synthetic study case**

***J. Kormann<sup>1</sup>, J. de la Puente<sup>2</sup>, O. Rojas<sup>2</sup>, M. Hanzich<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>Montan Universität Leoben, Lehrstuhl für Angewandte Geophysik, Leoben, Austria,

<sup>2</sup>Barcelona Supercomputing Center, Barcelona, Spain

Full Waveform Inversion (FWI) in seismic scenarios continues to be a complex procedure for subsurface imaging that might require extensive human interaction, in terms of model setup, constraints and data preconditioning. Especially, extracting low-frequency model content from noisy dataset still remains very challenging. On the other hand, inversion at higher frequency is more prone to cycle skipping if starting models are not enough accurate. This is why most of the research effort in the last decade has been focus on developing efficient misfit functional that mitigate cycle-skipping effects. The well-known Cross-Correlation misfit will be used here as a robust low frequency model builder for FWI, even though the data are strongly cycle-skipped. Then the highest frequencies will be reconstructed with the classical L2 norm combined with an offset frequency dependant strategy.

## S2-03

### **Pyrocko Ecosystem - Software for Seismology and Earthquake Source Characterization**

**M. Isken<sup>1</sup>, S. Heimann<sup>2</sup>, M. Kriegerowski<sup>3</sup>, H. Sudhaus<sup>1</sup>, H. Vasyura-Bathke<sup>3</sup>, S. Cesca<sup>2</sup>, N. Nooshiri<sup>2</sup>, A. Steinberg<sup>1</sup>, T. Dahm<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel, <sup>2</sup>GFZ Potsdam, Potsdam,

<sup>3</sup>Universität Potsdam, Potsdam

Pyrocko is an open source seismology toolbox and library, written in the Python programming language (*Heimann et al., 2017*; doi.org/10.5880/GFZ.2.1.2017.001). It can be utilized flexibly for a variety of geophysical tasks. Pyrocko has rich capabilities for seismological data processing and analysis. It to calculate full-waveform and near-field Green's functions databases - with the FOMOSTO module - to generate synthetic wave forms and/or static surface displacements (InSAR and GPS) for a variety of earthquake source models. E.g. finite earthquake ruptures, point sources (moment tensors) and other seismic sources.

The new KITE module (*Isken et al., 2017*; http://doi.org/10.5880/GFZ.2.1.2017.002) enables fast processing of unwrapped InSAR surface displacement maps for source modelling: spatial sub-sampling and data error estimation of interferograms is enabled for a highly interactive use or quasi-automatic. These tools pave the road for fast forward modelling of earthquake events.

To use these tools we develop the GROND module a bootstrap-based probabilistic optimization scheme that is based on Pyrockos' Green's functions databases. GROND is able to efficiently explore the model space of highly non-linear problems and can deal also with complex, multi-modal solutions spaces. It retrieves source model parameter trade-offs and estimates uncertainties of source parameters.

The GROND module is highly flexible with respect to adaptations to specific problems, the design of objective functions, and the diversity of data sets. GROND can be used to optimize simultaneously seismological wave forms, amplitude spectra and static displacements of geodetic data as InSAR and GPS. We present examples of GROND inversions to demonstrate the advantage of a full exploration of source parameter uncertainties for interpretation (last sentence is very vague).

The open source software framework is developed at GFZ Potsdam and at Kiel University, Germany, and is supported through grants of the German Research Foundation DFG.

The modular toolbox can be utilized very flexibly also for a variety of other geophysical problems. The Pyrocko core library provides building blocks for researchers and students wishing to develop their own applications.

## S2-04

### **Preprocessing and source inversion of controlled-source seismic data for fully elastic 2D waveform inversion**

**J. Zeiß<sup>1</sup>, K. Peters-Poethke<sup>1</sup>, M. Paschke<sup>2</sup>, J. Kormann<sup>1</sup>, F. Bleibinhaus<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Montanuniversität Leoben, Chair of Applied Geophysics, Leoben, Austria, <sup>2</sup>Surecomp DOS GmbH, Hamburg

We apply visco-elastic Full Waveform Inversion (FWI) in 2D to a 50-km long controlled-source refraction / reflection seismic survey at the San Andreas Fault (SAF) to obtain high resolution P-wave and S-wave velocity models for the SAF Observatory at Depth (SAFOD) drill site near Parkfield. The profile consists of 63 explosive sources and a fixed spread of 912 3-component receivers. The geology is dominated by granite to the SW and a sedimentary melange to the NE (the Franciscan Assemblage). Consequently, the data show few significant reflections but strong direct / refracted P- and S-waves.

The inversion for elastic parameters is performed in the frequency-domain but the modeling is performed in the time-domain. Therefore, a DFT is applied during forward modelling. We use the Gauß-Newton-method with an objective function of the weighted L2-norm of residuals and the Tikhonov's 0th order regularization of weighted model updates. The inversion for the source signatures is performed minimizing the L2-norm residuals of computed and observed waveforms. The routines allow time windowing and trace specific weighting.

We show the importance of various preprocessing steps and the data weighting considering the coherency of the derived source signatures as the main quality criterion. Our 3D-to-2D conversion filter is derived assuming a homogeneous medium and accounts for refracted body waves (P, S and P-S converted phases) simultaneously. We will further show preliminary results from the inversion for P- and S-wave velocities at 4 Hz, the lowest frequency that we use.

## **S2 Full Waveform Inversion A2 – Poster A**

### **S2-P-01**

#### **Effects of seismic anisotropy on near-surface full-waveform inversion**

***V. Krampe, Y. Pan, T. Bohlen***

Karlsruhe Institute of Technology, Geophysical Institute, Karlsruhe

In seismic imaging, especially in shallow seismics, we often presume that the Earth is isotropic, however, most common earth materials are observed as anisotropic, which leads to a directional dependence of the wave velocities. Consequently, ignoring the effects of anisotropy will lead to inexact solutions when calculating forward wave propagation or performing a full-waveform inversion (FWI).

The effects of anisotropy on body waves are well studied, and the importance of taking them into account has already been shown. The effects on surface waves, however, have not yet been investigated in detail.

Therefore, our work focuses on how seismic anisotropy has to be considered when applying FWI on shallow-seismic wavefields, in which surface waves always dominate. In shallow depths the underground is formed by fine sedimentary layers, which generate a vertically transversely isotropic (VTI) structure. Thus, we consider in this work primarily VTI media. We compared 2D elastic finite-difference forward modelings in anisotropic and isotropic Earth models. Both Rayleigh as well as Love waves are affected significantly by seismic

anisotropy. The seismograms not only differ kinematically (i.e., in traveltimes) but also the waveforms change significantly, influenced by the Thomsen parameters. Our sensitivity tests showed that Love waves are more sensitive to anisotropy than Rayleigh waves. Thus, the results of FWI can be improved by using a joint inversion.

A first step to include anisotropy in FWI is to use the Thomsen parameters as passive parameters, which means they are only used for the forward calculations of the wavefields. The parameters are previously determined in accordance with the starting model, assuming that the starting model is already similar to the true model. This method can already mitigate the influences of anisotropy on the reconstructed model, but it is problematic for reconstructing complex structures with spatially varying anisotropy. To properly account for such effects, FWI has to be adjusted so we can also invert for the anisotropy parameters themselves, which requires further research.

## **S2-P-02**

### **Towards an enhanced moment tensor catalog of the Alps**

***G. M. Petersen<sup>1</sup>, S. Cesca<sup>1</sup>, T. Plenefisch<sup>2</sup>, J. Kummerow<sup>3</sup>***

<sup>1</sup>GeoForschungsZentrum Potsdam, Potsdam, <sup>2</sup>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, <sup>3</sup>Freie Universität Berlin, Berlin

With its dense seismological network of more than 600 broadband stations, the European AlpArray initiative provides the possibility to obtain better insights on regional seismicity patterns as well as on source processes of single earthquakes. Within the scope of our AlpArray subproject “From Top to Bottom – Seismicity, Motion Patterns & Stress Distribution in the Alpine Crust” we aim to investigate the geodynamic processes which control the multi-scale seismicity of the Alps.

The seismicity of the Alps appears to be diffuse, and is mostly characterized by weak to moderate magnitudes, rarely resulting in damaging earthquakes (e.g. the 1976 Mw 6.5 Friuli earthquake, with almost 1000 casualties). Understanding the Alpine seismicity and the geometry and extent of active faults can benefit from seismic source studies, and in particular from moment tensor inversion.

Nowadays, moment tensor inversions in the target region are routinely performed by the Mediterranean Very Broadband Seismographic Network (MEDNET) and the Swiss Seismological Service (SED/ETH). The provided moment tensor solutions, however, only concern moderate seismicity, in most cases with magnitudes above 4. For example, in between 2013 and 2015 more than 400 events of magnitude  $M_I > 3$  have been detected and located in the Alpine region (ISC earthquake catalog), of which only 37 moment tensor solutions are available. The denser deployment of the AlpArray initiative can be used to extend the target of regional moment tensor inversions to weaker earthquakes. A future enhanced moment tensor catalog for the Alpine region will provide important new information to study seismic source processes and stress distribution in the Alps.

In this work, we present the state of the art with respect to seismic source results, upon a recollection of available moment tensor solutions for the area. We furthermore discuss challenges, opportunities and possible implementations for a moment tensor inversion at

local to regional distances, using a dense deployment of broadband stations, and show some preliminary moment tensor inversion results for weak earthquakes with magnitudes smaller than  $M_L 4$ .

### **S2-P-03**

#### **Hybrid time-frequency visco-elastic full-waveform inversion: A synthetic case study**

***K. Peters-Poethke, J. Zeiß, J. Kormann, F. Bleibinhaus***

Montanuniversität Leoben, Angewandte Geophysik, Leoben, Austria

In this study we present inversion results for different synthetic case studies with our two-dimensional hybrid time-frequency visco-elastic full waveform inversion algorithm. For the time-domain forward modelling a visco-elastic Finite-Difference algorithm that accounts for topography using the image method (Robertsson et al., 1994) is used. The elastic parameter inversion and the source signature inversion are performed in the frequency-domain minimizing the  $L_2$  norm of data residuals. The elastic parameter inversion uses the Gauß-Newton method including the Tikhonov's 0th order regularization of weighted model updates. Thereby the Jacobian matrix is build by explicitly calculated sensitivity kernels. With this Jacobian matrix the resolution matrix is provided.

Our FWI code is tested on a simple velocity model with a cross-hole geometry and a more complex velocity model (Marmousi). First observations from the inversions of the cross-hole model show fast convergence and very good recovery of the velocity anomalies in terms of geometry, trend and magnitude for P-wave, S-wave and P- and S-wave inversion. First inversion results for P- and S-waves of the recovered Marmousi model will be shown.

### **S2-P-04**

#### **Ultrasound medical imaging using full-waveform inversion**

***F. Kühn, T. Bohlen***

Karlsruhe Institute of Technology, Geophysical Institute, Karlsruhe

In the last 20 years full-waveform inversion (FWI) has been developed in the geophysical community with great success, as it is able to provide multi-parameter models in high resolution. In FWI, an initial model is iteratively adjusted by minimizing the misfit between the synthetic and the measured data using e.g. adjoint techniques. By exploiting more information of the measured waveform compared to traveltimes tomography, FWI is able to exceed the resolution limit of ray-based methods at the expense of much higher computational costs.

In this study we want to investigate the benefits of transferring the well established seismic FWI technology to ultrasound medical imaging, especially breast cancer screening. Nowadays, mammography using X-rays, is the common approach for breast cancer screening. However, it is more and more often replaced by ultrasound tomography, which is non-invasive and provides more reproducible results due to the fact that the breast is not deformed during data acquisition.



In contrast to the seismic application of FWI, elastic parameters have a negligible effect on wave propagation in breast tissue, which allows us to use the acoustic approximation of the wave equation for wavefield simulations.

In this work, we perform two-dimensional synthetic reconstruction tests using a realistic numerical breast model. The sound of speed within different breast tissues varies between approximately 1400 and 1700 meters per second. We use source signals with frequencies up to a few megahertz, which lead to wavelengths in the order of millimeters. Considering a transmission geometry, where sources and receivers are located all around the breast in a ring array having a diameter of 20 cm, we have to propagate about 100 to 150 wavelength in the target.

We study the potential of FWI to help improving the quality of speed of sound reconstruction of the breast. Increased breast density is a well-known breast cancer risk factor and complicates imaging of tumors. Improvements in ultrasound tomography based on FWI could help to detect small cancers earlier, in particular among the aforementioned risk group, and thus improve the survival probability of patients.

## **S2-P-05**

### **A bootstrap-based probabilistic optimization method to explore and efficiently converge in solution spaces of earthquake source parameter estimation problems**

***S. Heimann<sup>1</sup>, M. Isken<sup>2</sup>, D. Kühn<sup>3</sup>, H. Vasyura-Bathke<sup>4</sup>, H. Sudhaus<sup>2</sup>, A. Steinberg<sup>2</sup>, M. Kriegerowski<sup>4</sup>, S. Daouts<sup>2</sup>, S. Cesca<sup>1</sup>, T. Dahm<sup>1</sup>***

<sup>1</sup>GFZ Potsdam, Potsdam, <sup>2</sup>Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel, <sup>3</sup>NORSAR, Kjeller, Norway, <sup>4</sup>Universität Potsdam, Potsdam

Seismic source and moment tensor waveform inversion is often ill-posed or non-unique if station coverage is poor or signals are weak. Therefore, the interpretation of moment tensors can become difficult, if not the full model space is explored, including all its trade-offs and uncertainties. This is especially true for non-double couple components of weak earthquakes, as for instance found in volcanic, geothermal or mining environments.

We developed a bootstrap-based probabilistic inversion scheme (GROND) which is based on pre-calculated Greens function full waveform databases (e.g. FOMOSTO tool, doi.org/10.5880/GFZ.2.1.2017.001). GROND is able to efficiently explore the full model space, the trade-offs and the uncertainties of source parameters. The program is highly flexible with respect to the adaption to specific problems, the design of objective functions, and the diversity of empirical datasets.

It uses an integrated, robust waveform data processing based on a newly developed Python toolbox for seismology (Pyrocko, see Heimann et al., 2017; <http://doi.org/10.5880/GFZ.2.1.2017.001>), and allows for visual inspection of many aspects of the optimization problem. GROND has been applied to the CMT moment tensor inversion using W-phases, to nuclear explosions in Korea, to meteorite atmospheric explosions, to volcano-tectonic events during caldera collapse and to intra-plate volcanic and tectonic crustal events.

GROND can be used to optimize simultaneously seismological waveforms, amplitude spectras and static displacements of geodetic data as InSAR and GPS (e.g. KITE, Isken et al., 2017; <http://doi.org/10.5880/GFZ.2.1.2017.002>). We present examples of GROND inversions to demonstrate the advantage of a full exploration of source parameter uncertainties for interpretation.

## S3 Characterization of the vadose zone across scales

### *B1 – Poster B*

#### **S3-P-01**

#### **SNMR Feldmessgerät mit adiabatischer Anregung und Vorpolarisation**

**T. Radic<sup>1</sup>, S. Costabel<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Radic Research, Berlin, <sup>2</sup>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Berlin

Die Surface Nuclear Magnetic Resonance (SNMR) Methode erlaubt die direkte Quantifizierung und Charakterisierung von ungebundenem Wasser im oberflächennahen Untergrund. SNMR Messungen in dicht besiedelten Gebieten, wie sie in Mitteleuropa fast überall anzutreffen sind, bedingen aber häufig S/R-Verhältnisse von weniger als 1. Trotz mittlerweile ausgereifter Strategien zur Unterdrückung von Störsignalen ist ein zeitraubendes Stacking unvermeidlicher Bestandteil fast jeder konventionellen SNMR Messung.

Im letzten Jahr haben wir daher unsere SNMR Apparatur (MRS-MIDI-III) um einen Transmitter zur Vorpolarisation (VP) des Untergrundes ergänzt. Innerhalb der 2 Meter messenden VP-Loop kann für einige Sekunden ein Feld von 500  $\mu$ T erzeugt werden. Hierdurch erhöht sich die nukleare Magnetisierung des Wassers in den oberen 1-2 Metern um bis zu einer Größenordnung. Die sich unmittelbar anschließende "konventionelle" SNMR Messung regt dann ein bis zu 10-fach größeres Antwortsignal (FID) an. Derzeit erweitern wir die Fähigkeiten unsere Apparatur um eine weitere Neuerung. Ein Rf Pulse zur Auslenkung der Protonen im Untergrund ist üblicherweise konstant hinsichtlich Frequenz und Amplitude. Adiabatische Pulse (AP) zeichnen sich hingegen dadurch aus, dass sich ihre Frequenz und Stromstärke während des Pulses ändert. Hierdurch kann die Sensitivitätsverteilung im Untergrund vorteilhaft beeinflusst werden (Grunewald et al., 2016). So ist es möglich in einem definierten Tiefenbereich eine näherungsweise homogene Sensitivitätsverteilung zu erzielen. Bei der Anregung mit konstanten Pulsen treten hingegen stets eng beieinander liegenden Zonen mit unterschiedlichen Vorzeichen auf. Durch teilweise gegenseitige Auslösung wird das an der Oberfläche messbare Nutzsignal geschwächt. Mit adiabatischen Pulsen kann dies weitgehend vermieden und die Nutzsignalamplitude um den Faktor 2-3 erhöht werden. Derzeit laufende numerische Modellrechnungen sollen klären, unter welchen Bedingungen sich die Methode der Vorpolarisation und die der Anregung mit adiabatischen Pulsen bestmöglich ergänzen. Anwendungsgebiete für die erweiterte Apparatur sind z.B. das Bodenwassers in der Humusschicht oder Feuchtezonen in Tunneln und Bergwerken.

Referenzen:

Grunewald, E., Grombacher, D. & Walsh, D. (2016): Adiabatic pulses enhance surface nuclear magnetic resonance measurements and survey speed for groundwater investigations. *Geophysics*, 81 (4), 85-96.

### **S3-P-02**

#### **High resolution imaging of animal burrows using ground-penetrating radar.**

***N. Allroggen<sup>1</sup>, A. Booth<sup>2</sup>, S. Baker<sup>3</sup>, S. Ellwood<sup>3</sup>, J. Tronicke<sup>1</sup>***

<sup>1</sup>Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Potsdam, <sup>2</sup>University of Leeds, School of Earth and Environment, Leeds, United Kingdom, <sup>3</sup>University of Oxford, Department of Zoology, Abingdon, United Kingdom

Ground-penetrating radar (GPR) is widely applied to provide highly resolved images of subsurface sedimentary structures, with implications for processes active in the vadose zone. Frequently overlooked among these structures are the tunnels that are dug by burrowing animals (e.g. moles). While small, such tunnels potentially influence subsurface hydrology, or destabilize embankments and other earthworks. Unlike other burrowing animals, moles live almost entirely subterranean lives and little is known about the structure of their tunnel systems, which have been estimated to exceed 1km in length for a single mole.

Consequently, any ability to map their tunnels improves the understanding both of animal behaviour and of the shallow subsurface. From a geophysical perspective, mole tunnels can be considered a particularly challenging target since they are only approximately 5 cm in diameter, and may have a complex geometry. They therefore pose a novel imaging application for high-resolution GPR studies.

Over the past two years we have collected two repeat 3D GPR surveys at a field site located in Tubney (Oxfordshire, UK). Both datasets were recorded using a kinematic surveying approach, combining a Sensors&Software pulseEKKO PRO GPR system and a self-tracking total station; a 1000 MHz antenna set was used to survey a 7 m x 19 m area with a sample density of ~1 cm x ~5 cm. Careful 3D data processing reveals, in each dataset, a pattern of elongated responses which can be interpreted as a subsurface tunnel network. For validation purposes, we excavated a selected area of the survey site and confirmed the presence of interconnected tunnels in close agreement with the structures identified in the 3D GPR survey.

Furthermore, when analyzing the differences between the individual GPR surveys, we observed a significant change in the geometry of the tunnel network between the two surveys. Our data demonstrate the ability of 3D GPR imaging to non-invasively image mole tunnels but, given the dimensions of the target, we highlight the need to ensure the highest degree of positional control in the survey. These data offer valuable insight into the understanding of fossorial animal ecology, and showcase a new potential application for geophysical methods as well as a non-invasive method of ecological surveying.

### **S3-P-03**

#### **Der Einsatz von Präpolarisationsspulen bei Oberflächen-NMR Messungen zur Wassergehaltsbestimmung in der vadosen Zone**

***M. Müller-Petke<sup>1</sup>, S. Costabel<sup>2</sup>, R. Dlugosch<sup>1</sup>, T. Radic<sup>3</sup>, N. Skibbe<sup>1</sup>***

Oberflächen-NMR (SNMR) nutzt das schwache, aber dafür homogene Erdmagnetfeld zur Bestimmung der Tiefenverteilung des Wassergehaltes und der NMR-Relaxationszeit. Mit Hilfe dieser Parameter lässt sich der Untergrund hydrologisch charakterisieren, z.B. durch die Ableitung des Wassergehaltes/Porosität und der hydraulischen Leitfähigkeit. Die Anwendbarkeit von SNMR ist jedoch oft durch ein geringes Signal-zu-Rausch Verhältnis limitiert. Das gilt insbesondere für die teilgesättigten Verhältnisse in der vadosen Zone. Der Einsatz von elektromagnetischen Präpolarisationsfeldern (Px-Felder, De Pasquale & Mohnke 2014) ist ein vielversprechender, jedoch bislang überwiegend theoretisch untersuchter Ansatz zur deutlichen Erhöhung des messbaren SNMR-Signals im oberflächennahen Untergrund.

Wir zeigen die Ergebnisse erster SNMR-Feldmessungen mit einer Px-Spule (Durchmesser: 2m) für Stromstärken bis ca. 900 A an einem Standort mit oberflächennahem Grundwasser. Die Messungen mit Px zeigen deutliche NMR-Signale aus dem ungesättigten Tiefenbereich von < 0,5 m, während die herkömmliche Methode hier nur Rauschen aufweist. Wir haben Modellierungsansätze für die SNMR-Kernfunktion mit Px-Feldern entwickelt, um diese Signale zu quantifizieren und zu invertieren.

Die frei verfügbare toolbox MRSMatlab (Müller-Petke et al. 2016) zur Prozessierung und Inversion von SNMR-Daten wurde dementsprechend um eine Option zur Implementierung der Px-Technologie erweitert. Damit lassen sich schnell und unkompliziert die SNMR-Kernfunktionen für einfache geometrische Spulenanordnungen berechnen. Bei beliebig geformten Spulengeometrien kommt ein Programmcode zum Einsatz, der aktuell im Rahmen des DFG Projektes COMET entwickelt wird. Wir evaluieren den Programmcode und zeigen auftretende Unterschiede in den Tiefensensitivitäten für den Einsatz von Kreis- und Rechteckspulen. Im dem ebenfalls von der DFG geförderten Projekt MORESPIN soll die Leistungsfähigkeit der Px-Anregung und damit der Messfortschritt für Bodenfeuchtemessungen mit Hilfe des SNMR-Verfahrens erhöht werden.

#### Referenzen:

- De Pasquale, G. & Mohnke, O. (2014): Numerical Study of Prepolarized Surface Nuclear Magnetic Resonance in the Vadose Zone. *Vadose Zone Journal*, 13 (11), 1-9.
- Müller-Petke, M., Braun, M., Hertrich, M., Costabel, S. & Walbrecker, J (2016): MRSmatlab - A software tool for processing, modeling, and inversion of magnetic resonance sounding data. *Geophysics*, 81 (4), WB9-WB21.

### **S3-P-04**

#### **Multidisciplinary Study of Infiltration Processes**

***U. Noell, O. Fishkis, S. Stadler***

BGR, Berlin

As part of the EU Interreg Project TopSoil infiltration processes through the soil are observed by a combination of soil physical, soil chemical and geophysical methods. The aim of the project is to examine the susceptibility of exemplary agricultural fields for fast flow processes and preferential flow in particular. These flow processes are considered important to understand the spatial variability of groundwater contamination caused by agricultural practices.

On one field selected on the basis of preexisting groundwater contamination studies an artificial infiltration experiment was conducted. The infiltrated water was labeled with  $^{18}\text{O}$ -H<sub>2</sub>O and chloride as tracer substances. In the infiltration area tensiometers and TDR devices were installed at different depths down to 90cm. At five places suction plates were inserted. The whole area was covered by an ERT array using 300 electrodes with electrode distances of 0.3 and 0.5m and a total length of 9.6m.

The measurements started some days before the infiltration in order to examine undisturbed conditions. The area was covered by a tent to prevent natural precipitation on the study area. The artificial infiltration was done for 48 hours at a rate of 2 mm hour<sup>-1</sup> on an area of 2 x 2 m using an irrigation system. The ERT array setup comprised 2013 single quadrupole measurements and these were repeated every 40min during the infiltration. The frequency was reduced to one array measurement every two hours after 3 days. The TDR and tensiometer measurements were logged every 5 minutes. The amount of water flowing out of the suction plates was continuously recorded and the water samples were taken throughout the irrigation experiment.

The results show a spatial variability in the water flow. It is not yet clear what kind of small-scale heterogeneities cause this variability. It will be part of the project to examine various possible causes and whether these are related to measurable parameters at bigger scales

## **S4 Advances in Borehole Geophysics B2 – Poster B**

### **S4-P-01**

#### **Geophysical characterization of horizontal filter wells**

***M. Lay<sup>1</sup>, T. Daffner<sup>2</sup>, F. Börner<sup>3</sup>***

<sup>1</sup>Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V., Dresden, <sup>2</sup>Umweltbüro GmbH Vogtland, Weischlitz im Vogtland, <sup>3</sup>Technische Universität Berlin, Fachgebiet Angewandte Geophysik, Berlin

Horizontal filter wells produce huge amounts of water over long periods of time. They are used for drinking water supply or the limitation of rising groundwater levels. The

determination of the optimum hydraulic excitation of the horizontal filter strings and their monitoring during the production phase are valuable opportunities to increase the efficiency of filter wells.

To obtain a continuous record of the hydraulic and geochemical conditions inside of the horizontal wells, the data acquisition system “HoriWell Inspector” was developed at the Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V. as part of a cooperative project.

By adapting methods from the wireline logging in vertical wells and the additional development of a lock and drive unit, a technically feasible solution has been implemented that complies with complex requirements of horizontal well logging.

The measured quantities along the horizontal strings are flow rate, pH value, oxidation and reduction potential, temperature, oxygen saturation and electrical conductivity of the water. The acquisition system has a modular design and offers capacities for additional sensors and modules. The performance of the measuring system was confirmed by extensive tests inside the pilot plant for horizontal well investigations at our project partner UBV. The pilot plant consists of four sections with filter tubes that are commonly used for horizontal filter wells. Based on different rock material fillings at each section, the plant allows a realistic experimental simulation of different hydraulic and geochemical conditions along the horizontal filter string. Furthermore, it is possible to vary the geochemical characteristics of the water inside the pilot plant. After the successful completion of component tests at the pilot plant and inside a real horizontal filter well during operation, it is planned to apply the HoriWell Inspector within development and regeneration procedures inside of horizontal well sections.

## AG Archäogeophysik *Vorträge*

### AG-1-01

#### **Geophysikalische Erkundung des spätbronzezeitlichen Bergbaus Priggitz-Gasteil in Niederösterreich**

***I. Schlögel<sup>1</sup>, A. Flores-Orozco<sup>2</sup>, P. Trebsche<sup>3</sup>, J. Gallist<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, FA Angewandte Geophysik, Wien, Österreich, <sup>2</sup>Technische Universität Wien, Department für Geodäsie und Geoinformation - Forschungsgruppe Geophysik, Wien, Österreich, <sup>3</sup>Donau-Universität Krems, Zentrum für Museale Sammlungswissenschaften, Asparn/Zaya, Österreich

Im Rahmen des FWF-Projektes „Leben und Arbeit im bronzezeitlichen Bergbau von Priggitz“ (FWF P30289-G25) wurden im Oktober 2017 geophysikalische Messungen im Bereich des Bergbaugebietes in der Gemeinde Priggitz (Bezirk Neunkirchen) durchgeführt und anschließend zwei Kernbohrungen abgeteuft. Ziel war vorrangig die Erkundung der Lage und Mächtigkeit der Halde. Des Weiteren sollten, falls vorhanden, unterirdische Bergbaustrukturen bzw. die Reste der Vererzung detektiert werden. Dazu wurde linienhaft mittels Induzierter Polarisation über das gesamte Areal gemessen, sowie an ausgewählten Profilen Refraktionsseismik und Georadarmessungen durchgeführt.

Seit den 1950er Jahren ist bekannt, dass in Niederösterreich bereits ab der späten Bronzezeit Kupfererze abgebaut und verhüttet wurden. Die größte derzeit bekannte Bergbausiedlung

liegt in Gasteil. Hier fanden 1956 und 1958 archäologische Ausgrabungen statt, die von 2010 bis 2014 unter der Leitung von Peter Trebsche fortgesetzt wurden. Die bronzezeitlichen Bergleute bauten in Priggitz-Gasteil vor allem Kupferkies (Chalkopyrit) ab; im Mittelalter wurden später auch Versuchsbaue auf Eisenerz (Siderit) angelegt. Mit den geophysikalischen Messungen konnten die unterschiedlichen geologischen Gesteine der nördlichen Kalkalpen (Kalke) und der Grauwackenzone (Blasseneckporphyroid und Radschiefer, an die die Vererzung gebunden ist), sowie die räumliche Ausdehnung der Halde erfasst werden. Der Haldenkörper liegt auf den Gesteinen der Radschieferformation, sowie gering mächtiger (bis 10m) hangabwärts über dem Blasseneckporphyroid. Im zentralen Bereich hat die Halde, belegt durch Bohrungen, eine Mächtigkeit von bis zu 37 m und kann in mehrere auch zeitlich unterschiedliche Einheiten unterteilt werden. Die genaue Datierung der einzelnen Schichten erfolgt derzeit durch dendrochronologische Auswertungen der gefundenen Hölzer sowie durch Radiokarbondatierungen von Holzkohlen und Tierknochen aus der Halde. Es ist mit einem bronzezeitlichen Alter der Halde selbst zu rechnen.

Die westliche Grenze des Bergbaubereiches bildet der Übergang von den Kalken zu den Radschiefern, die östliche Grenze hangabwärts ist der Blasseneckporphyroid. Die Daten geben Hinweise auf die Lage der Vererzung bzw. einem unterirdischen Abbau. Ebenso zeigen sich hangaufwärts im Kalk kleinräumige Bereiche, die als neuzeitliche Prospektionsstollen oder Schächte interpretiert werden können.

## **AG-1-02**

### **Hochauflösende und großflächige geophysikalische Prospektion eines zentralen Fundortes der Wikingerzeit: Kaupang in Vestfold, Norwegen**

***D. Ruß<sup>1</sup>, E. Nau<sup>2</sup>, W. Neubauer<sup>1,3</sup>, C. Tonning<sup>1,4</sup>, M. Gabler<sup>1,2</sup>, R. Filzwieser<sup>3</sup>, T. Gansum<sup>4</sup>, I. Trinks<sup>3</sup>, A. Eder<sup>3,5</sup>, L. Gustavsen<sup>2</sup>, P. Schneidhofer<sup>1,3</sup>, S. Flöry<sup>3</sup>, T. Zitz<sup>3</sup>, N. Neubauer<sup>3</sup>***

<sup>1</sup>Universität Wien, Vienna Institut for Archaeological Science, Wien, Österreich, <sup>2</sup>Norsk institutt for kulturminneforskning, Oslo, Norwegen, <sup>3</sup>Ludwig Boltzmann Gesellschaft, Institut für archäologische Prospektion und virtuelle Archäologie, Wien, Österreich, <sup>4</sup>Vestfold fylkeskommune, Tønsberg, Norwegen, <sup>5</sup>Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Angewandte Geophysik, Wien, Österreich

In den Jahren zwischen 2010 und 2011 wurden durch das Ludwig Boltzmann Institut für archäologische Prospektion und virtuelle Archäologie (LBI Arch Pro) zusammen mit norwegischen Partnern Norsk Institut for kulturminneforskning (NIKU) und der Vestfold fylkeskomune das Areal der wikingerzeitlichen Siedlung in Kaupang in der Provinz Vestfold mittels Georadar und Geomagnetik prospektiert. Kaupang gilt als eine von vier protourbanen frühwikingerzeitlichen Siedlungen. Im Summe wurden in Zuge zweier Case Studies in und um Kaupang etwa 160 Hektar mit Geomagnetik und 109 Hektar mit Georadar untersucht. Verwendet wurden für die Georadaruntersuchungen ein 400 Mhz 16 Kanal MALÅ Imaging Radar Array (MIRA) von MALÅ Geoscience. Fünf FÖRSTER FEREX CON 650 Sonden, montiert mit einem Abstand von 0,5 m auf einem unmagnetischen Wagen, kombiniert mit einem Fünfkanal EasternAtlas Analog/Digital Konverter und gezogen von einem Quad kamen für die Geomagnetikmessungen zum Einsatz. Prozessiert wurden die gewonnenen Daten mit eigens im LBI Arch Pro und an der Zentralanstalt für

Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) Wien entwickelter Software (ApRadar und ApMagnetik), die dabei erzeugten georeferenzierten Graustufenbilder werden in ArcMap (© ESRI) in einer Geodatabase organisiert, analysiert, visualisiert und interpretiert. Archäologisch erforscht wurde das Siedlungsareal in Kaupang vor allem durch zwei Forschungsprojekte. Auf Grund der Ergebnisse dieser Grabungen wurde eine dichte Bebauung mit bis zu zwei Häuserzeilen rekonstruiert, die Bauten sollen mit der Schmalseite zum Meer ausgerichtet gewesen sein, ein dreiphasige Nutzung des Areals wird postuliert. Die Auswertung und vorläufige Interpretation der geophysikalischen Daten stützt diese Rekonstruktion nicht. So schränkt z. B. die Rekonstruktion der Paläotopographie das für die Siedlung zur Verfügung stehende Areal ein. Beim gegenwärtigen Stand der Bearbeitung scheinen die dicht bebauten Bereiche im Areal der archäologischen Grabungen zu liegen.

### **AG-1-03**

#### **Geophysikalische Prospektion auf dem nördlichen Peloponnes: Herausforderungen, Lösungen und offene Fragen...?**

***K. Rusch, H. Stümpel, W. Rabbel***

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel

Die tektonisch bedingte Hebung, Meeresspiegelschwankungen und Erosionsprozesse haben die Morphologie des nördlichen Peloponnes in den letzten hunderttausenden von Jahren geformt. Entstanden sind eine große Anzahl an Marinen Terrassen aus Mergel, die mit unterschiedlichem Material bedeckt sind. Zumeist findet man jedoch Konglomerate in Wechsellagerung mit dünnen Mergelschichten und einer variierend mächtigen Sedimentbedeckung vor. Diese geologischen Gegebenheiten zusammen mit ebenfalls unmagnetischen Baumaterialien sowie der menschlichen Kultivierung der Region fordern das gesamte Spektrum der geophysikalischen Methoden heraus.

Bei der Prospektion der archäologischen Stätten Aigeira und Sikyon kamen dabei neben der Magnetik ebenfalls Georadar, Geoelektrik sowie seismische Verfahren zum Einsatz. Es konnten folgende Funde gemacht werden: 1) Befestigungsmauer und Grundmauern von Gebäuden (GPR). 2) Oberflächennahe Strukturen, die auf intensive Verwitterung hinweisen (Magnetik, GPR, ERT). 3) Tiefe und Verlauf des Grundgebirges sowie eine Mauer in einer Geländestufe (Seismik). 4) Stadtmauerfundamente und angrenzende Bebauung sowie möglicherweise ein öffentliches Gebäude (ERT). 5) Vielversprechender Hinweis auf die Lokation des verlandeten Hafens von Sikyon (Seismik).

### **AG-1-04**

#### **Das „ArchPro Carnuntum Projekt“ – die großflächige, zerstörungsfreie Erkundung des römischen Carnuntum**

***M. Wallner<sup>1</sup>, W. Neubauer<sup>1</sup>, K. Löcker<sup>1,1</sup>, C. Gugl<sup>3</sup>, A. Hinterleitner<sup>1,2</sup>, M. Doneus<sup>4</sup>,  
G. Verhoeven<sup>1</sup>, I. Trinks<sup>1</sup>, S. Seren<sup>2</sup>, V. Sandić<sup>1</sup>, V. Jansa<sup>3</sup>, J. Wilding<sup>4</sup>, A. Vinkilich<sup>4</sup>,  
T. Trausmuth<sup>4</sup>, T. Tencer<sup>4</sup>, F. Humer<sup>5</sup>***

<sup>1</sup>LBI ArchPro, Ludwig Boltzmann Institut für Archäologische Prospektion und Virtuelle Archäologie, Wien, Österreich, <sup>2</sup>ZAMG, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, Österreich, <sup>3</sup>ÖAW, IKAnt - Institut für Kulturgeschichte der Antike, Wien, Österreich,



<sup>4</sup>UNI Wien, Institut für Urgeschichte und Historische Archäologie, Wien, Österreich,

<sup>5</sup>Niederösterreichische Landesregierung, Archäologischer Park Carnuntum, Petronell Carnuntum, Österreich

Die römische Stadt Carnuntum ist die größte archäologische Fundstelle Österreichs. Von der einstigen Hauptstadt der römischen Provinz Pannonia Superior sind heutzutage allerdings nur wenige Bauwerke obertägig sichtbar. Der Großteil des rund 650 ha großen Stadtgebietes liegt dem Betrachter verborgen unter ausgedehnten, landwirtschaftlich genutzten Feldern.

In den Jahren 2012 - 2014 wurde, für die zerstörungsfreie Erkundung des ehemaligen Siedlungsgebietes, im Auftrag des Landes Niederösterreich das „ArchPro Carnuntum Projekt“ durchgeführt. Dieses vom Ludwig Boltzmann Institut für Archäologische Prospektion und Virtuelle Archäologie (LBI ArchPro) und der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) durchgeführte Großprojekt stellt zurzeit die größte zusammenhängende geophysikalische Messfläche Österreichs dar.

Innerhalb des Projektes konnten 743.2 ha Geomagnetik mit einer durchschnittlichen Auflösung von 0.1 x 0.25 m, weitere 232.2 ha Bodenradar mit einem Messraster von 0.04 x 0.08 m und 22.4 ha Elektromagnetische Induktionsmessung mit einem Messraster von 0.85 x 0.2 m gemessen werden.

Die angewandten hochauflösenden, zerstörungsfreien Prospektionsmethoden waren Grundlage für einen einzigartigen Datensatz, der die noch im Boden verborgenen archäologischen Strukturen erstmals in höchster Detailgenauigkeit sichtbar werden lässt.

Durch die Integration aller verfügbaren Informationen in einem Geographischen Informationssystem (GIS) war es möglich, die unterschiedlichen Datensätze miteinander in Verbindung zu bringen und in einer Gesamtinterpretation zu vereinen. Dadurch entstand die Möglichkeit, die Vorzüge der einzelnen geophysikalischen Prospektionsmethoden optimal zu nutzen und diesem äußerst komplexen Datensatz umfassende Informationen über die römischen Hinterlassenschaften zu entlocken. Die ersten Ergebnisse des „ArchPro Carnuntum Projektes“ bieten eine herausragende Fülle an neuen archäologischen Informationen, welche nun als Grundlage für zukünftige Forschungsvorhaben herangezogen werden können.

## **AG-2-01**

### **High-resolution 3D resistivity tomography for imaging of small-scale archaeological structures**

**O. S. Al-Saadi<sup>1</sup>, V. Schmidt<sup>1</sup>, M. Becken<sup>1</sup>, T. Fritsch<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster, <sup>2</sup>Terrex gGmbH, Forschungsprojekt Keltischer Ringwall Otzenhausen, St. Wendel

Measurement of the subsurface resistivity has been often applied in archaeological prospection and numerous methods exist. A fixed 4-electrode-array can be used to simply

map the resistance, but often a 2D electrical resistivity tomography (ERT) is conducted. Since archaeological objects such as remnants of buildings usually represent resistivity anomalies which are very heterogeneous in all three dimensions, 3D resistivity methods would be appropriate for their investigation. However, a true 3D ERT requires a large effort, which is often circumvented by measuring a number of 2D profiles. If many parallel 2D profiles are measured and subsequently inverted using a 3D algorithm, the method is called a quasi-3D ERT.

At two archaeological find spots of building remnants from Roman times near Nonnweiler (Saarland), different resistivity methods have been tested. At a suspect area, a true 3D ERT using 96 electrodes with spacing of 0.5 m and 1 m and a roll-along technique was conducted. A quasi-3D measurement with 25 cm electrode spacing gave a similar result and showed a higher resolution. Fixing the electrodes in a frame saved time during electrode setup and facilitated exact positioning.

A large quasi-3D ERT using 9648 electrode positions and 25 cm electrode spacing was used to image the remnants of a Villa Rustica. The inversion results showed clearly the foundations of the building and other structures. In general, the ERT image agrees well with the findings of an archaeological excavation at this place. However, in some regions the ERT result seems to be affected by very large resistivity contrasts. This leads to disagreements between the ERT result and the excavation results. To evaluate this effect, the resolving power of the method has been also investigated by synthetic modeling.

## **AG-2-02**

### **Anwendung von Georadar in verschiedenen Flachwassersituationen**

**A. Fediuk, D. Wilken, T. Wunderlich, W. Rabbel**

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel

Georadar ist eine geophysikalische Methode, die seit Jahrzehnten erfolgreich für archäologische und geologische Fragestellungen an Land und auch im Flachwasserbereich angewendet wird. Einschränkungen der Methode entstehen durch die hohe elektrische Leitfähigkeit insbesondere von Salzwasser sowie durch den Tonanteil der Sedimente, die die elektromagnetischen Wellen dämpfen.

Wir zeigen eine Studie, für welche Parameter (Wassertiefe, Antennenfrequenz, Leitfähigkeit des Wassers) und Zielobjekte ein Einsatz von Georadar im Süßwasser sinnvoll und eine Ergänzung zu den gängigen Methoden Seismik, Echolot usw. ist. Die Argumentation erfolgt hierbei über synthetische Modellierungen als auch verschiedene Flachwassermessungen.

Die Grundlage stellen Messungen in einem abgeschlossenen Bereich, d.h. einem Schwimmbecken mit einem abgesenkten Rohr an definierter Position als Referenzstreckkörper dar. Durch Wiederholungsprofile und synthetische Modellierung kann die Abstrahlcharakteristik der 400 MHz und 200 MHz Antenne abgeschätzt werden und in eine Diskussion über das Auflösungsvermögen von Wasserradarmessungen einfließen. Durch synthetische Modellierung unterschiedlicher Targets und Flachwasserszenarien wurde so ein Einsatzkatalog für Georadar im Wasser erstellt.

Als Anwendungsbeispiel wird eine Messung in einem noch mit Wasser gefüllten Teil des Karlsgrabens mit einer Wassertiefe von 1-2 m, viel Laubeintrag und Algenbewuchs gezeigt. Ziel der Prospektion war es, die Flanken von Versturzablagerungen von den angrenzenden

Aushubwällen des Kanals abzubilden.

Bei den Schwimmbadtests erreichte die 400 MHz Antenne eine vertikale Auflösung < 7 cm und die 200 MHz Antenne < 13 cm. Bei beiden Messungen war die Tiefeneindringung unabhängig von der Antennenfrequenz. Somit wurde die 400 MHz Antenne bei den Messungen bevorzugt.

### **AG-2-03**

#### **Geophysikalische Prospektion zur Erkundung montanarchäologischer Fundstellen am Beispiel des Forschungsprojektes zum Prähistorischen Kupferbergbau in den Bündner Alpen**

***B. Ullrich<sup>1</sup>, P. Della Casa<sup>2</sup>, R. Freibothe<sup>1</sup>, R. Turck<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>Eastern Atlas GmbH & Co. KG, Berlin, <sup>2</sup>Universität Zürich, Institut für Archäologie, Zürich, Schweiz

Zur Erkundung montanarchäologischer Fundstellen können die Verfahren der oberflächennahen Geophysik trotz schwieriger Randbedingungen strukturelle Informationen liefern. Das wird anhand einer Fallstudie im Forschungsprojekt der Universität Zürich zum prähistorischen Bergbau in den Bündner Alpen gezeigt. Ziel des Projektes ist die Erfassung der gesamten Prozesskette (chaîne opératoire) vom Erzabbau über die Aufbereitung und Verhüttung bis zur Verarbeitung von Kupfer in der Spätbronzezeit.

Die Randbedingungen für die Prospektion im Oberhalbstein in den Bündner Alpen sind durch sehr kleine, abseits gelegene Fundstellen mit komplexer Topografie und vielfältigen Überprägungen charakterisiert. Die Fragestellungen zielen einerseits auf die Eigenschaften der Lagerstätten - hier Kupfererze im Serpentin und andererseits auf kleinräumige Spuren ober- und untertägigen prähistorischen Bergbaus (Gänge, Pingens) ab. Am Fundplatz Gruba wurde eine Methodenkombination aus GPR- und ERT-Messungen eingesetzt. Das Pingensfeld wurde mit dem Georadar untersucht. Die Auswertung der Messungen erfolgte unter Berücksichtigung der Topografie des Geländes. Aus den Daten können mehrere lineare Strukturen, die vermutlich zu Podien bzw. Arbeitsplattformen gehören, sowie Formen und Verfüllungen der Pingens abgeleitet werden. Die ERT-Messungen fokussierten auf ein Areal, in dem Georadarmessungen Hinweise auf einen abgebauten Erzgang lieferten. Die aus den geoelektrischen Messungen abgeleiteten 2D-Modelle erlauben eine Unterscheidung von Festgesteinsstrukturen und Haldenmaterial anhand des spezifischen elektrischen Widerstandes. Der Ansatz von 2D-Profilmessungen wird den komplexen geologischen und topografischen Gegebenheiten am Fundplatz allerdings nicht gerecht, daher wurde eine 3D-Modellierung unter Berücksichtigung der Topografie durchgeführt. Die Fallstudie zeigt das Potential geophysikalischer Methoden zur räumlichen Erfassung montanarchäologischer Befunde.

## AG-2-04

### **Erfahrungen mit Mehrkanal-Radarmessungen auf der archäologischen Fundstelle von Mleiha (Schardscha, Vereinigte Arabische Emirate)**

**R. Knies<sup>1</sup>, C. Meyer<sup>1</sup>, A. Anderson Stamnes<sup>2</sup>, S. Jasim<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Eastern Atlas GmbH & Co. KG, Berlin, <sup>2</sup>Norwegian University of Science and Technology, NTNU University Museum, Trondheim, Norwegen, <sup>3</sup>Sharjah Archaeology Authority, Sharjah, Vereinigte Arabische Emirate

Die im Mai 2017 ausgeführten geophysikalischen Untersuchungen in Mleiha (Schardscha, VAE) umfassten Messungen mit dem mehrkanaligen, stepped-frequency Georadarsystem von 3D-Radar (Trondheim, Norwegen). Ziel der Untersuchung war es, eine Fläche von ca. 7 Hektar in unmittelbarer Nähe der bereits ergrabenen Monumentalgräber am Fundort Mleiha F zu untersuchen. Messungen in den Vorjahren hatten bereits gezeigt, dass das Georadarverfahren unter den in Mleiha vorliegenden Bedingungen die am besten geeignete geophysikalische Methode ist, um komplexe archäologische Strukturen auf der ca. 500 Hektar umfassenden mehrphasigen Siedlung zu erfassen. Für die Untersuchungen wurde das hochauflösende Multi-Antennen-Array DXF1820 von 3D-Radar verwendet. Das Antennenarray, gekoppelt mit der Steuereinheit Mark IV Geoscope GPR wurde von der Norwegischen Universität für Wissenschaft und Technologie in Trondheim bereitgestellt. Es ermöglicht die Erstellung von Datensätzen mit einer Auflösung von 7,5 cm x 6 cm. Darüber hinaus gewährleistet das verwendete Array mit 20 parallel angeordneten Antennen, die von einem geländegängigen Fahrzeug geschleppt werden, eine hohe Effizienz. Es liefert detailreiche Daten über den gesamten erfassten Tiefenbereich, da die Antennen in einem gestuften Frequenzmodus arbeiten und das gesamte Spektrum zwischen 50 und 3000 MHz nutzen. Aufgrund der Bodenverhältnisse (sandige, teils tonige, äolische und alluviale Sedimente) waren aussagekräftige Daten allerdings nur bis in Tiefen von ca. 120 cm zu gewinnen. Trotz dieser Einschränkung ergaben die Auswertung der Radarmessung eine große Anzahl bisher unbekannter archäologischer Strukturen innerhalb der vermuteten Nekropole um Mleiha F. Zahlreiche Strukturen, die sich mit Grabbauten und Flachgräbern in Verbindung bringen ließen, wurden identifiziert. Zur Analyse des Einflusses von Oberflächeneffekten auf die Georadardaten wurden mit Hilfe der Drohne DJI FC6310 (Phantom 4 Pro) ein hochaufgelöstes digitales Geländemodell sowie Orthophotos erstellt. Zusätzlich wurden für einen Datenvergleich Messungen mit dem Georadarsystem GSSI SIR-3000 mit der 270-MHz-Antenne auf einer ausgewählten Testfläche vorgenommen.

## AG-2-05

### **Großflächige hochauflösende Bodenradarmessungen**

**I. Trinks<sup>1</sup>, A. Hinterleitner<sup>1, 2</sup>, K. Löcker<sup>1, 2</sup>, M. Wallner<sup>1</sup>, R. Filzwieser<sup>1</sup>, H. Schiel<sup>1, 2</sup>, M. Gabler<sup>3</sup>, E. Nau<sup>3</sup>, J. Wilding<sup>1</sup>, V. Jansa<sup>1</sup>, P. Schneidhofer<sup>1, 4</sup>, T. Trausmuth<sup>1</sup>, W. Neubauer<sup>1, 4</sup>**

<sup>1</sup>Ludwig Boltzmann Institute for Archaeological Prospection and Virtual Archaeology, Wien, Österreich, <sup>2</sup>Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, Österreich, <sup>3</sup>Norwegian Institute for Cultural Heritage Research, Oslo, Norwegen, <sup>4</sup>University of Vienna, Vienna Institute for Archaeological Sciences, Wien, Österreich

Traditionell werden Bodenradar (GPR) Messungen für oberflächennahe geophysikalische

Prospektion mit Einkanalssystemen durchgeführt, wobei die GPR-Antenne in einem Handwagen geschoben oder in einem Schlitten vom Operateur gezogen wird. Der gebräuchliche räumliche Profilarabstand solcher GPR-Messungen für die zerstörungsfreie Untersuchung archäologischer Hinterlassenschaften im Boden war bisher, mit wenigen Ausnahmen, bestens 25 cm. Mit zwei bis drei Personen zur Durchführung der Messung sind Messleistungen bei solchen Profilarabständen von einem viertel bis zu einem halben Hektar täglich zu erreichen, wobei oft von wesentlich geringeren Messleistungen und größeren Messabständen berichtet wird. In den vergangenen Jahren haben neue Mehrkanal GPR-Systeme eine erhebliche Steigerung der Messeffizienz erlaubt, wie auch der räumlichen Messauflösung. Mit Hilfe von motorisierten 400 MHz 16-Kanal GPR Anordnungen in Kombination mit automatischen Positionierungssystemen ist es heute möglich mehrere Hektar Fläche pro Tag mit nur 8×4 cm GPR Spurbreite zu vermessen. Während diese dramatische Erhöhung der Messleistung einen positiven Effekt auf die Reduktion der Kosten von Bodenradarmessungen hat, und dadurch zu einer umfassenderen Nutzung des Verfahrens in der Rettungsarchäologie wie auch der archäologischen Forschung führt, erlaubt die hohe räumliche Messauflösung erstmals auch die Abbildung relativ kleiner archäologischer Strukturen, wie z.B. von Pfostenlöchern wikingerzeitlicher Gebäude von nur 25 cm Durchmesser oder den Ziegeltürmchen römischer Fußbodenheizungen, was eine wesentlich verbesserte Visualisierung und Interpretierbarkeit der Daten mit sich bringt. Wir präsentieren den Stand der Technik bezüglich großflächiger hochauflösender Bodenradarprospektion samt Messtechnik, zugehöriger Software-Entwicklungen, neuer Messlogistik sowie die damit verbundenen Themen der Datenbearbeitung und Interpretation der in sehr großer Menge gesammelten Bodenradar Daten. Anwendungsbeispiele von ausgewählten europäischen archäologischen Stätten illustrieren den erzielten Fortschritt.

## **AG-2-06**

### **Ergebnisse der großflächigen, hochauflösenden Prospektion in Rechnitz**

***H. Schiefel<sup>1, 2</sup>, W. Neubauer<sup>1, 3, 4</sup>, K. Löcker<sup>1, 2</sup>, R. Totschnig<sup>2</sup>, M. Wallner<sup>1</sup>, T. Trausmuth<sup>1</sup>, M. Kucera<sup>1</sup>, I. Trinks<sup>1</sup>, A. Hinterleitner<sup>1, 2</sup>, A. Vonkilch<sup>1</sup>, M. Fera<sup>3</sup>***

<sup>1</sup>Ludwig Boltzmann Institut für Archäologische Prospektion und Virtuelle Archäologie, Wien, Österreich, <sup>2</sup>Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Abteilung Geophysik, Wien, Österreich, <sup>3</sup>VIAS - Vienna Institute for Archaeological Science, Wien, Österreich, <sup>4</sup>Universität Wien, Wien, Österreich

Bereits im Jahr 1996 wurden in der Gemeinde Rechnitz erste händische geophysikalische Messungen durchgeführt. Ab 2014 wurden schließlich motorisierte Messungen in Angriff genommen, da zwei Kreisgrabenanlagen sowie eine Siedlung mit einer doppelten Grabenstruktur bei Luftbildflügen entdeckt wurden. Auf Grund dieser Testmessungen wurde 2016 eine Case Study (CS) des Ludwig Boltzmann Institutes für Archäologische Prospektion und Virtuelle Archäologie in Kooperation mit der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik gestartet um diesen Siedlungs- und Kulturraum großflächig zu untersuchen.

Während der laufenden CS wurde bis jetzt ein Gebiet von circa 105 Hektar beinahe flächendeckend mit verschiedenen Magnetometersystemen prospektiert. Der Großteil der

Messungen wurde dabei mittels eines motorisierten, RTK-GNSS positionierten Förster FEREX CON650 Gradimeter Systems mit einem 10-Kanal Eastern Atlas AD Wandler durchgeführt, auf dem 8 Sonden in einem Abstand von 25cm angeordnet sind und alle 10cm, bei einer Fahrtgeschwindigkeit von 20km/h, ein Messpunkt gesetzt wird. Das System selbst wird von einem ATV Quad Bike gezogen.

Beim zweiten hier verwendeten System handelt es sich um ein motorisiertes Magnetiksystem mit 8 optisch gepumpten Cäsium Totalfeldsensoren (Scintrex CS3), welche an zwei Vierkanal Magnetikmesssystemen von Pico Environtec angeschlossen sind. Zur Positionierung wird ebenfalls ein RTK-GNSS verwendet.

Die so erzeugten Messdaten werden zusammen mit den Positionsdaten in einem speziellen XML Format gespeichert und als georeferenzierte Graustufenbilder visualisiert.

Bei den mit diesen Systemen durchgeführten Messungen konnten bis dato eine der größten jungsteinzeitlichen Siedlungen, drei mittelsteinzeitliche Kreisgrabenanlagen mit dazugehörigen Häusern sowie eine in die Zeit dazwischen zu vermutende, große Doppelgrabenanlage, eisenzeitliche Verhüttungsplätze, frühneuzeitliche Flursysteme und die Grabenanlagen des, von den Nationalsozialisten in den 1940er Jahren angelegten, Ostwalls entdeckt und befundet werden.

## **AG Archäogeophysik A1 – Poster A**

### **AG-P-01**

#### **Geoelektrische Messungen zur Identifizierung verschütteter, prähistorischer Bergbaubereiche im Hallstätter Hochtal**

**B. Jochum<sup>1</sup>, A. Ita<sup>1</sup>, D. Ottowitz<sup>1</sup>, S. Pfeiler<sup>1</sup>, H. Reschreiter<sup>2</sup>, K. Kowarik<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Geologische Bundesanstalt, FA Geophysik, Wien, Österreich, <sup>2</sup>Naturhistorisches Museum Wien, Prähistorische Abteilung, Wien, Österreich

Der prähistorische Salzbergbau in Hallstatt wurde nachweislich mehrfach durch langsame Massenbewegungen unterbrochen, diese haben die prähistorischen Bergbaubereiche teilweise mit Oberflächenmaterial verfüllt. An einigen Stellen sind sie durch trichterförmige Vertiefungen an der Oberfläche (Pinge) zu erkennen. Im Rahmen einer Kooperation der Geologischen Bundesanstalt mit dem Naturhistorischen Museum Wien wurden im Jahr 2013 erste geoelektrische Messungen über eine derartige Geländeform durchgeführt. Durch Unterschiede im spezifischen elektrischen Widerstand sollten in diesem Gebiet drei unterschiedliche geologische Einheiten charakterisierbar sein. Das steinsalzreiche Haselgebirge (sehr hoher spezifischer elektrischer Widerstand (im Folgenden nur mehr als Widerstand bezeichnet)), das vom ausgelaugten Haselgebirge (sehr niedriger Widerstand) überlagert wird, und das an der Oberfläche liegende Massenbewegungsmaterial (in sich sehr heterogener aber eher hoher Widerstand). Das Ergebnis der geoelektrischen Messung zeigt im Bereich der Pinge eine Anomalie, die sich als eindringendes Oberflächenmaterial interpretieren lässt. Basierend auf diesem Ergebnis, das den verschütteten prähistorischen Bergbaubereich klar sichtbar macht, wurden im Sommer 2016 geoelektrische Messungen im Kaiserin Christina- und Kaiser Josef-Stollen durchgeführt. Um bekannte prähistorische Bergbaubereiche, zwischen den schräg übereinanderliegenden Bergwerksstollen,

nachzuweisen, wurde die Messmethodik gezielt angepasst. Es wurden zwei Profile zu je 93 Elektroden in jedem Stollen verwirklicht. Der Messaufbau wurde durch einen Verbindungsstollen erleichtert, durch den die geoelektrischen Profile verbunden waren und so tatsächliche „borehole-to-borehole“-Messpunkte realisiert werden konnten. Das erhaltene Modell des spezifischen elektrischen Widerstandes zeigt größtenteils Anomalien, die sowohl mit der bekannten geologischen Situation als auch mit bekannten Bergbaubereichen (prähistorisch und aktuell) erklärbar sind. Als Fazit kann gesagt werden, dass die Methode bei der vorliegenden Fragestellung zufriedenstellende Ergebnisse liefert, aber dennoch Verbesserungsbedarf besteht. Im Besonderen bei der Auswahl der verwendeten Messkonfigurationen zur optimalen Auflösung des zentralen Bereichs zwischen den Stollen.

## **AG-P-02**

### **"Heut bin ich über Rungholt gefahren" - Geophysikalische Untersuchungen rund um die Hallig Südfall**

**M. Schwardt<sup>1</sup>, D. Wilken<sup>1</sup>, A. Fediuk<sup>1</sup>, T. Wunderlich<sup>1</sup>, W. Rabbel<sup>1</sup>, H. Hadler<sup>2</sup>, A. Vött<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Angewandte Geophysik, Kiel, <sup>2</sup>Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Geographisches Institut, Mainz

Im 12. und 13. Jahrhundert gehörte das damals neu gewonnene Marschland um die heutige Hallig Südfall zwischen den Inseln Pellworm und Nordstrand zum Verwaltungsbereich der Edomsharde mit der Hauptsiedlung Rungholt. Während der 1. Groten Mandränke 1362 wurden weite Teile der tief liegenden Marschen der Edomsharde überflutet und binnen weniger Tage vom Kulturland zum Wattenmeer, einschließlich Rungholt. Obwohl bisher nur wenig über Rungholt und die mittelalterliche Kulturlandschaft bekannt ist, zeugen im Wattenmeer sichtbare Kulturspuren von dem ehemals kultivierten Marschland. Basierend auf vorangegangenen Untersuchungen, historischen Karten, Beschreibungen und Luftaufnahmen wurden Lokationen um die Hallig Südfall ausgewählt, in denen geophysikalische Messungen durchgeführt wurden.

Während Niedrigwasser wurden insgesamt ca. 13 ha magnetisch kartiert. Die Messungen zeigen im Gebiet südlich der Hallig eine in etwa West-Ost Richtung verlaufende Anomalie, deren Stärke und Breite variieren. Im Vergleich mit historischen Kartierungen zeigt sich, dass es sich vermutlich um Überreste eines mittelalterlichen Deiches handelt. Im östlichen Bereich liegen ca. 1500 m<sup>2</sup> große viereckige Anomalien nördlich des Deiches, die als ehemalige Warften angesprochen werden können.

Während der Hochwasserphase wurden seismische Reflexionsprofile (Einkanal, 4 kHz Quellfrequenz) mit einer Gesamtlänge von 36 km südwestlich der Hallig Südfall aufgezeichnet. Die Profile im Bereich des vermuteten Deiches zeigen im östlichen Teil einen nach oben gewölbten Reflektor unter dem sich ein Reflektor in Form einer Mulde abzeichnet. Diese Struktur konnte in weiteren Profilen außerhalb des magnetisch kartierten Gebietes verfolgt werden. Im westlichen Bereich sind in den Profilen die Flanken einer etwa 100 m – 150 m breiten und 1,5m tiefen Rinne zu erkennen, darunter zeigt sich auch hier der muldenförmige Reflektor. Bei der Rinne handelt es sich vermutlich um einen ehemaligen Priel, der die Kulturspuren in diesem Bereich bis auf die Mulde nahezu vollständig erodiert hat und die schwächeren magnetischen Anomalien erklärt.

Die im südlichen Gebiet magnetisch und seismisch kartierten Strukturen stimmen mit

Beschreibungen und Kartierungen von in den 1920er Jahren noch oberflächlich sichtbaren und heute von Sand überdeckten Strukturen überein und geben Aufschluss über die Entwicklung der Landschaft, die Besiedlung und Nutzung des ehemaligen Gebiets der Edomsharde.

### **AG-P-03**

#### **Large-scale magnetometer surveys in al-Hira (Iraq)**

**B. Ullrich<sup>1</sup>, M. Gussone<sup>2</sup>, R. Kniess<sup>1</sup>, M. Müller-Wiener<sup>3</sup>, N. Noorda<sup>4</sup>, I. Salman<sup>5</sup>, H. Zöllner<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Eastern Atlas GmbH & Co. KG, Berlin, <sup>2</sup>Technische Universität Berlin, Institut für Architektur, Berlin, <sup>3</sup>Goethe-Universität, Institut für Archäologische Wissenschaften, Frankfurt am Main, <sup>4</sup>University of Groningen, Groningen Institute of Archaeology, Groningen, Netherlands, <sup>5</sup>Deutsches Archäologisches Institut, Orient Department, Berlin

The challenges and practical solutions of large-scale magnetometer surveys are presented using the example of the investigation of historical al-Hira (Iraq). The magnetometer survey was part of a multidisciplinary approach involving geophysics, remote sensing and archaeological field surveys in the precincts of the al-Najaf International Airport. The efficient and high-resolution geophysical survey of a planned landing strip, stretching over 3.2 km in East-West direction and more than 500 m in North-South direction, suggests the use of a multi-sensor, and GPS coupled device. The main challenges of this specific survey were the different surface conditions, which comprise open areas, bush savannah, mounds and spoil heaps of former excavations and building material. In order to match these conditions we applied the light and flexible magnetic survey system LEA MAX (Eastern Atlas). The device can easily be transported as standard air luggage and assembled in the field in short time. Surveying the large open areas, the array was used as a 10-sensor system pulled by an ATV, whereas it was modified to a hand-pulled system for additional surveys between heaps and on exposed ridges. The processing of the magnetic data includes a single-sensor drift calculation and specific 2d-filtering in order to reduce the impact of the ATV. The results of the large-scale magnetometer survey allow both, to establish a classification of different zones of archaeological potential varying from almost no archaeological remains to very densely built urban areas and a very detailed archaeological interpretation.

### **AG-P-04**

#### **Reconstruction of the paleo environment by the joint application of geophysical methods at the archaeological site of Duvensee Moor in Schleswig-Holstein.**

**E. Corradini, D. Wilken, W. Rabbel**

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel

In the frame of the CRC 1266 'Scales of Transformation', the Applied Geophysics group of Kiel University has the main task to investigate archaeological sites from the Pleistocene hunter-gathers to early state society, dating from 15.000 to 1 BCE.

The Mesolithic site of Duvensee (8900-6500 BC) has been investigated with different geophysical methods in order to reconstruct the palaeo-environment of a former lake now filled with peat and gyttja. The aim is to use non invasive methods to recognize and map



dwelling-sites located on former islands in the lake and to understand their geomorphological context. The investigated area was chosen to verify the presence of the shoreline and to understand the stratigraphy by comparison between drillings and geophysical survey. ERT (Electrical Resistivity Tomography), GPR (Ground Penetrating Radar, 200 MHz) and SH Seismics have been applied to get a comparison between methods and to merge this results with stratigraphic information from ten cores. A first comparison between ERT, GPR and Seismics seems to give a very good match indicating an uppermost layer of peat and the lower most layer associated with the bottom of the lake: in between the presence of gyttja layers are visible. The bottom of the north eastern part of the lake was mapped by GPR revealing not only the position of known islands but also of unknown sites.

## **AG-P-05**

### **Prospektion archäologischer Strukturen mittels CMD-Explorer Messungen im Tempelbezirk bei Kornelimünster**

**L. Gierens<sup>1</sup>, B. Tezkan<sup>1</sup>, P. Yogeshwar<sup>1</sup>, M. Broisch<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie, Köln, <sup>2</sup>Universität zu Köln, Archäologisches Institut, Köln

Zur Prospektion archäologischer Strukturen wurden oberflächennahe Zweispulen-Elektromagnetik-Messungen in einem Tempelbezirk bei Kornelimünster durchgeführt. Gearbeitet wurde dabei mit dem CMD-Explorer von GF Instruments. Die Spulen sind koplanar ausgerichtet und können wahlweise horizontal (HCP) als auch vertikal (VCP) ausgerichtet werden. Mit einer Sendespule und drei Empfängerspulen werden dabei die Outphase- Komponente sowie die Inphase-Komponente für sechs verschiedene Tiefenbereiche gemessen. Die Messung fand in einem Gallo-Römischen Tempelbezirk aus dem ersten bis dritten Jahrhundert n. Chr. statt. Das Messgebiet umfasst ca. 100 x 100 m, weshalb die Verwendung des portablen und effizienten CMD-Explorers hinsichtlich des Messfortschritts sinnvoll erscheint. Einige Teilflächen wurden bereits mit Magnetik-Messungen prospektiert und zum Teil fanden bereits Grabungsaktivitäten statt. Zunächst wurden die Flächen durch kontinuierliche Messungen kartiert. Des Weiteren wurden Markermessungen an ausgewählten Profilen über möglichen archäologischen Strukturen durchgeführt. Die flächenhaft vermessenen CMD-Daten wurden mittels mehrerer Prozessierungsschritte qualitativ ausgewertet und Anomalien durch das Bilden räumlicher Gradienten hervorgehoben. Entlang der aufgenommenen Markerprofile wurden 1D Inversionen durchgeführt, um ein Leitfähigkeitsmodell der oberen 5-8 m abzuleiten. Abschließend wurden die Modelle und Kartierungsergebnisse mit den Magnetik-Ergebnissen verglichen und hinsichtlich der archäologischen Strukturen interpretiert.

## **AG-P-06**

### **Gleichstromgeoelektrische Messungen zur Detektion von Mauerstrukturen auf einer archäologischen Verdachtsfläche an der Burgruine Tecklenburg**

**J. Klahold, B. Tezkan, P. Yogeshwar, J. Wittke, M. Gurk**

Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie, Köln

Im Rahmen dieser Arbeit wird das geophysikalische Messverfahren Gleichstromgeoelektrik zur Prospektion von Mauerstrukturen eingesetzt. Falls sich Mauerreste im Untergrund befinden, wird ein deutlich erhöhter spezifischer Widerstand gegenüber dem Umgebungsmaterial erwartet. Aufgrund dessen fällt die Wahl auf die Gleichstromgeoelektrik als klassische Methode der Archäogeophysik, beruhend auf der Messung elektrischer Potentialdifferenzen. Untersucht wurde eine archäologische Verdachtsfläche an der Burgruine Tecklenburg in Nordrhein-Westfalen. Auf der Grundlage historischer Aufzeichnungen und der gegenwärtigen Topographie werden dort Mauerreste eines ehemals zur Burg gehörigen Turms vermutet. Die Messung umfasst sieben Profilmessungen unter Verwendung der Elektrodenauslagen Wenner, Schlumberger und Dipol-Dipol mit einer Profillänge von jeweils 39 m und Elektrodenabstand 1 m, sowie eine 3D-Kartierung. Aus den Messdaten wurde ein Leitfähigkeitsmodell des oberflächennahen Untergrundes abgeleitet und im Hinblick auf die archäologische Fragestellung ausgewertet. Darüber hinaus wurden Modellierungsstudien bezüglich des Topographieeinflusses sowie der Auflösbarkeit verschiedener Mauerstrukturen mit Variation in deren Ausdehnung und Leitfähigkeitskontrast zum Umgebungsmaterial durchgeführt.

## **BL Bohrlochgeophysik Vorträge**

### **BL-01**

#### **Elastic rock parameters – the influence of mineral composition, porosity and microstructure**

**F. Dertnig, N. Gegenhuber**

Lehrstuhl für Angewandte Geophysik, Montanuniversität Leoben, Leoben, Austria

We present data from laboratory measurements of elastic properties of different lithologies. Measurements were carried out on plugs with 25 mm diameter and 22 mm length in dry and brine saturated conditions with an ultrasonic device. Therefore the samples were fixed with an applied axial pressure of 5 bar between transmitter and receiver (UGS-S and UGE-S, Geotron Electronic, Germany) and contact agent for better coupling was used. Thin sections had been used to obtain mineralogy and microstructures of the different lithologies. Consequently this data together with the measured data was used to calculate the physical properties of the “solid” host material for further model calculations.

We used the bound models of Voigt (1910) and Reuss (1929) to calculate upper and lower boundary respectively; also the generalization of Lichtenecker and Rother (1931) with an exponent  $\alpha$  (ranging from 1 to -1) was applied. Model calculations with different  $\alpha$ -values as a plot of compressional modulus ( $k$ ) versus porosity ( $\phi$ ) subdivide the data into different groups with similar  $\alpha$ -values as a microstructural parameter. Applying exponential approximation-curves (using an exponent “ $\beta$ ”) helped to automatically divide the data into the subgroups similar to the “ $\alpha$ ” values. The  $\alpha$ - and the corresponding  $\beta$ -values describe data groups within changing lithologies and  $\phi$ . The mean values of these data groups show overall for decreasing  $\alpha$ -values, decreasing  $k$  and increasing  $\phi$  for bioclastic limestones. Vital is that densities of the subgroups do also show decreasing values but inverted rising values do show grain densities. We found out that samples with similar porosities got

grouped into different subdivisions due to the given elastic properties and that this gave reasonable information about the microstructure of the samples. For the model calculation the solid mineral compressional modulus was calculated from mineral composition and also empirically by extrapolation of  $k$  for  $\phi = 0$  derived from the empirical data. This showed partly better results especially for the igneous and metamorphic rocks as the elastic properties of the host material were set better for these lithologies. This research received funding from by the Austrian Science Fund (FWF), Project P 27959, Petrographic coded correlations in Petrophysics.

## **BL-02**

### **Zuverlässige Bestimmung des Azimuts aus bohrlochakustischen**

#### **Cross-Dipole-Daten**

***O. Hellwig, M. Linke, S. Buske***

TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg

Bohrlochakustische Imaging-Verfahren verfolgen das Ziel, geologische Strukturen in der unmittelbaren Bohrlochumgebung hochauflösend abzubilden. Aufgrund der Anordnung von Quellen und Empfängern entlang des Bohrpfadens stellt die Bestimmung der Azimutwinkel, unter denen das Wellenfeld an den Empfängern einfällt, eine Herausforderung dar.

Eine Möglichkeit zur Bestimmung des Azimuts sind bohrlochakustische Cross-Dipole-Messungen. Die Direktivität einer Dipolquelle verhält sich proportional zum Kosinus des Azimuts. Bei einem Cross-Dipole werden zwei Dipolmessungen miteinander kombiniert, wobei beide Quellen senkrecht zueinander ausgerichtet sind. Das reflektierte Wellenfeld wird jeweils in Form der zwei Horizontalkomponenten der Partikelgeschwindigkeit registriert. Der Azimutwinkel lässt sich über den Arkustangens des Verhältnisses der aufgezeichneten Komponenten bestimmen. Alternativ können die vier registrierten Wellenfeldkomponenten als Tensor zweiter Stufe aufgefasst werden, der abgesehen von Störeinflüssen symmetrisch ist. Der zum größten Eigenwert gehörige Eigenvektor des Tensors repräsentiert die Einfallrichtung der Reflexion. Diese beiden Methoden sind allerdings bei verrauschten Daten extrem störanfällig. Besonders bei niedrigen Amplituden, d.h. auch nahe der Nullstellen eines Reflexionssignals, liefern diese Verfahren keine genauen Werte für den Azimut.

Eine zuverlässigere Alternative stellt die Bestimmung des Azimuts innerhalb eines Zeitfensters dar. Da das Reflexionssignal eine zeitliche Ausdehnung besitzt, ist es sinnvoll, den Azimut innerhalb dieses Fensters zu bestimmen. Die Berechnung kann als Optimierungsproblem formuliert werden, das bei Rotation des Tensors um einen optimalen Winkel geeignete Tensorcomponenten minimiert. Der sich ergebende Ausdruck für den Winkel enthält die Varianz und die Kovarianz der vier Zeitreihen im Zeitfenster. Dieses Verfahren hat den positiven Effekt, dass es durch die enthaltene Subtraktion der jeweiligen arithmetischen Mittelwerte der Zeitreihen unterschiedliche Empfindlichkeiten der Empfänger kompensiert. Außerdem ist dieses Verfahren weitgehend unempfindlich gegenüber zufälligem Rauschen. Allerdings lässt sich damit nicht die Mehrdeutigkeit des Azimutwinkels auflösen, die daher rührt, dass zusätzlich zur berechneten Einfallrichtung immer noch die entgegengesetzte Richtung als eine weitere Lösung in Frage kommt, sofern sich nicht eine der beiden Richtungen durch A-priori-Informationen ausschließen lässt.

### **BL-03**

#### **Log digitisation – The thin lines between success and failure**

**C. Steiner-Luckabauer, M. Maxl**

HOT Engineering GmbH, Leoben, Austria

Digitised wireline logs are the fundamental information on which petrophysical and geological interpretation is performed. For reservoirs developed in the 70s and 80s, a considerable amount of logs were run before the digital age and lead their existence in the archives of oil companies. These logs are holding a considerable amount of invaluable information. Nowadays, during re-development, these ancient logs are gaining growing attention and are increasingly integrated in sedimentological, geological and petrophysical work. Experienced log analyst can extract remarkable information on rock type and petrophysical properties. Prior to this interpretation, the paper logs are required to be digitised. This digitisation is in many cases outsourced to digitisation companies and often QCed on random tests. The focus is held on the log interpretation whereas not too much emphasis is put on the digitisation. However, experience shows that it is worthwhile to spend time and knowhow on log digitisation as every inaccuracy or even incorrectness can lead to misinterpretation and in the worst case misleading estimates on oil or gas in place. Digitisation of ancient logs is an art, as the log interpretation itself. It is an underestimated task - once handled properly giving valuable contribution to all following disciplines providing a solid fundament. Experience with ancient log reading and a high standard QC create the thin lines between success and failure.

### **BL-04**

#### **Unconventional Reservoirs: Basic Petrophysical Approach for Shale Gas**

**A. Rashed**

Cairo University, Cairo, Egypt

Shale gas is as an unconventional natural gas resource that is the current focus of the oil and gas exploration and development industries worldwide. However, as the gas content of shale reservoirs is one of key factors justifying the economic development of these reservoirs, and an accurate estimation of the gas content is required in the assessment of shale gas resources. Shale Gas has intense activity taking place in regions like North America.

Organic matter deposited with shales containing kerogen that matured as a result of overburden pressure and temperature, giving rise to source rocks yielded and expelled hydrocarbons. Produced gas comes from both adsorbed gas in the organic matter and free gas trapped in the pores of the organic matter and the inorganic portions of the matrix. i.e. quartz, calcite, and dolomite.

Gas volumes are estimated through a combination of geochemical analysis and log interpretation techniques. TOC, desorbed total gas content, adsorption isotherms, and kerogen maturity amongst other parameters can be measured in cores, and cutting in the laboratory. These data are used to estimate total desorbed gas content and adsorbed gas

content which is a part of total gas. The  $\Delta\log R$  Passey log method is used to detect potentially productive areas. Permeability is one of the most important parameters, but at the same time, one of the difficult to measure in a shale gas. core calibrated porosity, mineral composition, water saturation, and elastic modules can be obtained through electric and radioactive logs. It is possible to estimate different gas in-situ volumes using porosity-resistivity based total gas in-situ, and geochemical based adsorbed gas in-situ. The difference should be the free gas in-situ.

The study successfully identified the state of the art in petrophysical evaluation through logs and core, log response in presence of kerogen, log interpretation techniques, and petrophysical workflow is an index for volumetric estimation of gas in-situ in shale gas reservoirs. Horizontal drilling and Hydraulic frac are the most of the technologies that should use as lessons learned.

## **BL-05**

### **Drucksondierungen (CPT) und geophysikalische Verfahren in der Bodenerkundung (technische Möglichkeiten)**

**A. Walther, U. Bammann, U. Behrens**

Fugro Germany Land GmbH, Berlin

Drucksondierungen (CPT - Cone Pressure Test) sind eine seit Jahrzehnten gängige Technologie zur Erkundung und Charakterisierung des Bodens und zur Messung und Ableitung geotechnischer Parameter. Dabei wird eine Messspitze hydraulisch nur mit dem Gegengewicht des Sondierfahrzeuges ohne Schlagen oder Drehen in den Boden gedrückt. Eine Entnahme von Material erfolgt also nicht. Die Daten werden in der Regel kontinuierlich über die Zeit aufgenommen.

Allein die Bestimmung von Lagerungsdichten und Reibungsverhältnissen zur Beschreibung des Bodens (im Allgemeinen) bzw. des Baugrundes (im Speziellen) war oft nicht ausreichend und ließ in der Vergangenheit den Wunsch nach mehr Informationen zum jeweiligen Boden aufkommen. Die Messung weiterer Bodenparameter sollte aber möglichst im gleichen Arbeitsgang erfolgen. Unter diesem Aspekt entwickelte die Fugro in den letzten Jahren einige Messsysteme, die in die klassische CPT-Spitze integriert wurden oder nachgeschaltet werden können. Damit ist es möglich, zeitgleich mit der Bestimmung der geotechnischen Parameter auch andere, den Boden bzw. das Bodensubstrat beschreibende, geophysikalische Parameter zu messen.

Z. Zt. können folgende Systeme zum Einsatz kommen:

Porenwasserdruck, elektr. Leitfähigkeit, Magnetik, Seismik, natürliche Radioaktivität, MIP, LIF, XRF. Der Einsatz dieser Messsysteme erfolgt durch Fugro Deutschland Europaweit für spezielle Aufgabenstellungen an Land und im Wasser.

Magnetik: z. B. Kampfmittelerkundung (Ortung von Bombenblindgängern), Bestimmung von Spundwand-/Pfahlhängen, Ortung von magnetischen Objekten (Anker)

Elektr. Leitfähigkeit: z. B. Beschreibung von Altablagerungen, Altstandorten, Schadstofffahnen

Seismik: VSP, Ableitung von Schermodulen, Untersuchung von Standorten für WKA  
MIP/LIF/XRF: Untersuchung von Altstandorten, Verteilung von Schadstoffen im Boden  
und Grundwasser

## **BL Bohrlochgeophysik B2 – Poster B**

### **BL-P-01**

#### **How can the interpretation of tube waves help to improve the geotechnical site characterization?**

**U. Sauer<sup>1</sup>, L. Karl<sup>2</sup>, T. Fechner<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ, Leipzig, <sup>2</sup>Geotomographie GmbH, Neuwied

The thorough understanding of the spatial distribution of geotechnical parameters in the near surface is essential, especially for site specific risk assessment studies or construction projects. Nowadays, seismic is an accepted geophysical method to derive this required spatial information. The application of s-waves in comparison to p-waves increases the geotechnical benefits gained particularly from tomographic studies due to their higher resolution and the immediate possibility to derive soil dynamic properties. However, there are certain limitations related to the application of s-waves when relying on the propagation of seismic waves along cased and fluid filled boreholes. The occurrence of tube waves for instance, propagating at the interface between the borehole and the surrounding soil, may mask the arrival of the s-wave. The reliability of using these waves for the characterization of mechanical properties has already been discussed in publications for several years. The behavior of these tube waves is influenced by both shear wave velocity in the formation and by borehole/casing parameters (such as borehole radius, casing thickness and Poisson's ratio of the casing material). When a good coupling between the geological formation and the casing is guaranteed, the tube wave velocity is primarily linked to the shear modulus of the formation and the influence of the borehole/casing is small. In contrast, casing properties influence the interface wave propagation to a much greater extent when weak coupling is evident. Seismic VSP data were recorded within the German R&D project CPTTOMO in water filled boreholes. The vertical excitation focused on the generation of p-waves only. The data show, besides the p-wave arrival, a clear visibility of tube waves in the seismograms. The question arises if these clear signals can provide additional information with regards to an improved geotechnical site characterization. An essential step would be to link the tube wave velocity to the s-wave velocity. Fortunately, several approaches for this conversion can be found in literature. The poster presentation summarizes these different approaches to estimate the s-wave velocity in the formation from tube wave velocities. In addition, the application of these approaches to seismic VSP data is shown and the results are compared with measured vs data. Based on this comparison the potential of interpreting tube waves for geotechnical assessment studies is evaluated.

## DL Didaktik/Lehre B2 – Poster B

### DL-P-01

#### **Die Geophysik im Masterstudiengang Physik an der TU Braunschweig**

##### **A. Hördt**

Technische Universität Braunschweig, Braunschweig

Geophysikalische Inhalte werden an der TU Braunschweig im Rahmen des Masterstudienganges Physik vermittelt. Im ersten Jahr werden die Spezialkenntnisse erworben, die zum Anfertigen einer Masterarbeit notwendig sind. Insgesamt 45 Leistungspunkte werden im physikalischen Kernbereich belegt, weitere 15 können als Nebenfach oder physiknaher Bereich gewählt werden. Im Kernbereich werden sechs Module mit je 15 Punkten angeboten, von denen drei frei gewählt werden können. Drei der sechs Module decken Inhalte aus Geophysik, Weltraumforschung und Planetenphysik ab. Die drei Module setzen sich aus zwei doppelstündigen Vorlesungen mit Übungsstunde, und einem Praktikum zusammen. Im Modul „Geophysik“ werden Vorlesungen aus allgemeiner Geophysik, Hydrogeophysik und angewandter Geophysik, sowie ein einwöchiges Geländepraktikum angeboten. Das Modul „extraterrestrische Physik“ behandelt u.a. die Physik planetarer Magnetosphären. Methodische Kompetenzen werden mit der Vorlesung „Daten- und Signalanalyse“ gestärkt. Im Modul „Astrophysik und Planetologie“ wird u.a. die Entstehung von Planetensystemen behandelt. Alle drei Module werden mit einer mündlichen Abschlussprüfung benotet. In weiteren Wahlmodulen können zusätzliche Kenntnisse, wie z.B. zu Erdbeben, der Rotation des Erdkörpers, oder der Kometenphysik, erworben werden.

Das zweite Jahr des Masterstudienganges ist die Forschungsphase, in der die Studierenden eng an die Arbeitsgruppe angebunden sind, in der die Masterarbeit angefertigt wird. Im dritten Semester werden zunächst im Rahmen experimenteller Praktika, Literaturrecherchen und Seminaren spezifische Fertigkeiten erworben, das vierte Semester ist dann ausschließlich der Masterarbeit gewidmet. Das Studium bietet auch Möglichkeiten zur Kooperation mit den in Braunschweig ansässigen Instituten des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) und der physikalisch-technischen Bundesanstalt (PTB).

Zugangsvoraussetzung ist ein Bachelor in Physik, Geophysik oder einem fachlich verwandten Studiengang. Andere Abschlüsse sind grundsätzlich ebenfalls möglich. Gegebenenfalls werden Auflagen erteilt, um fehlende Kenntnisse nachträglich zu erwerben.

### DL-P-02

#### **International M.Sc. Program in Geophysics at Karlsruhe Institute of Technology (KIT)**

##### **E. Gottschämmer, A. Rietbrock, Arbeitskreis Studienfragen Geophysik am KIT**

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruhe

An international master program in Geophysics will be started at KIT in October 2018. The program is research-oriented, has a strong focus on exploration and earthquake

seismology and will bring together theory and field experiments. This provides our students the opportunity to cover the full range of geophysics from data acquisition to modelling, inversion and interpretation. The program will entirely be taught in English.

Compulsory modules in the 1st year include Theory of Seismic Waves, Earthquake Seismology, Physics of Seismic Instruments, Exploration Seismology and Seismic Imaging, Seismic Modelling as well as Inversion and Tomography. For their specialisations students can choose additional modules from Geophysics or related subjects. Lectures on Array Processing, FWI, Induced Seismicity, Hazard & Risk Assessment and a Winter School at BFO are regularly offered.

Recently, the concept of in-situ lecturing was successfully established at KIT. In-situ lectures are taught in the field at the location which is being studied giving students the possibility to fully appreciate the objective and observe the whole range of parameters involved. In-situ lectures have led our students to the Aeolian Islands, deep into potash mines in Thuringia, to the Gotthard base tunnel while it was built, and to seismically active regions in Germany and the Czech Republic.

To broaden the educational experience students have the opportunity to participate in international summer schools; e.g. a summer school on Seismology & Geohazards which we are conducting in cooperation with IT Bandung and Australia National University. Since KIT is part of the Eucor network students can also choose lectures offered by our European partners.

During their 2nd year students will be integrated in one of the research groups working on their master thesis. We consider it as important to fully immerse into a project at a high level over an extended period. This guarantees an optimum preparation for their future work in industry or science.

The program is open for students holding a Bachelor degree in Geophysics, Physics, Mathematics, Geosciences or related sciences. Candidates must provide 20 credits each in Geophysics, Physics and Mathematics, as well as a proof of excellent English. Missing credits in Geophysics can individually be caught up for during the 1st year. For immediate success students can take part in an interactive convergence course covering the most important topics from Geophysics.

### **DL-P-03**

#### **M.Sc. Physik der Erde und Atmosphäre Universität Bonn**

##### **A. Kemna**

Universität Bonn, Steinmann-Institut, Fachbereich Geophysik, Bonn

Im Fokus der beiden innerhalb der Erdwissenschaften stark physikalisch-mathematisch ausgerichteten Disziplinen Geophysik und Meteorologie liegt die Erfassung, Analyse und Vorhersage physikalischer Vorgänge und Phänomene des Systems Erde. Die Geophysik befasst sich mit der Erforschung des Aufbaus der Erde, ihrer physikalischen Zustände und spezifisch mit den Vorgängen im Innern des Erdkörpers, während die Meteorologie physikalische und chemische Prozesse in der Erdatmosphäre ergründet.

Der Studiengang „Physik der Erde und Atmosphäre“ als Kooperationsstudiengang zwischen den Universitäten Bonn und Köln vereint diese Disziplinen und ermöglicht es



Masterstudierenden, ihr konsekutives Studium individuell zu gestalten: Als reines Schwerpunktstudium durch die Wahl von ausschließlich geophysikalischen oder meteorologischen Modulen oder als Kombinationsstudium mit der Ergänzung der Schwerpunktmodule durch die jeweils andere Disziplin, um das Verständnis und Wissen zur Interaktion zwischen fester Erde und Atmosphäre zu stärken.

Im Fachbereich Geophysik (Prof. Dr. Andreas Kemna) an der Universität Bonn bilden die Hydrogeophysik, Biogeophysik und Kryogeophysik die Schwerpunkte sowohl im Lehr- als auch im Forschungsbereich. Als Mitglied im GeoVerbund ABC/J und durch enge Forschungs Kooperation auf verschiedenen Gebieten der Erdwissenschaften ist der Fachbereich Geophysik in der Lage, Projekt- und Masterarbeiten mit aktuellem Forschungskontext anzubieten und die Masterstudierenden dadurch in laufende, abwechslungsreiche Forschungsprojekte einzubinden.

#### **DL-P-04**

### **Universität Potsdam: Masterstudiengang Geowissenschaften (Vertiefungsrichtung Geophysik)**

*J. Tronicke, F. Krüger*

Universität Potsdam, Potsdam

Rückblickend auf eine 150-jährige Geschichte im Bereich der Erdbeobachtung hat sich der Standort Potsdam in den vergangenen zwei Jahrzehnten zu einem international sichtbaren Ausbildungs- und Forschungszentrum im Bereich der Erdwissenschaften entwickelt. In unmittelbarer Nachbarschaft zu zahlreichen außeruniversitären Forschungseinrichtungen nimmt dabei die Universität Potsdam eine zentrale Rolle ein. Auch im Bereich der Geophysik bildet die enge Kooperation der Universität mit den außeruniversitären Partnern eine wichtige Säule, die auch in der Diversität der Forschungs- und Ausbildungsthemen weitreichend sichtbar ist. An der Universität Potsdam ist die geophysikalische Ausbildung ein integraler Bestandteil der Bachelor- und Masterstudiengänge Geowissenschaften.

Zugangsvoraussetzung für ein Masterstudium der Geowissenschaften sind der Abschluss eines Bachelorstudiums sowie der Nachweis von mindestens 24 Leistungspunkten (LP) aus dem Bereich Erdwissenschaften und mindestens 36 LP aus den Bereichen Mathematik, Chemie und Physik (mindestens jedoch 6 LP pro Fachrichtung). Während der Bachelorstudiengang ohne Spezialisierung abgeschlossen wird, können die Studierenden im Masterstudiengang zwischen den drei Vertiefungsrichtungen Geologie, Mineralogie/Petrologie und Geophysik auswählen, wobei jede Vertiefungsrichtung durch entsprechende Pflichtmodule (Umfang 30 LP) und vertiefende Wahlpflichtmodule (60 LP) definiert ist. Für die Vertiefungsrichtung Geophysik garantieren die in der Studienordnung definierten Pflichtmodule (zum Beispiel Theorie elastischer Wellen, geophysikalische Inversion) eine theoretisch fundierte Ausbildung. Darauf aufbauend erlaubt der Katalog der Wahlpflichtmodule eine den Studieninteressen angepasste Gestaltung der Ausbildung. Hier finden sich neben einer Reihe von allgemeinen, seismologischen und angewandten geophysikalischen Modulen auch geophysikalische Labor- und Geländeübungen, die das Studienangebot auch unter praktischen Gesichtspunkten abrunden. Abgeschlossen wird

das Studium durch die Masterarbeit (30 LP), in der die/der Kandidat/in ein geophysikalisches Forschungsthema selbstständig bearbeitet. Neben den inneruniversitären Forschungsthemen der Arbeitsgruppen Allgemeine Geophysik/Seismologie und Angewandte Geophysik bietet hier auch die enge Kooperation der Universität Potsdam mit den außeruniversitären Partnern der Region weitreichende Möglichkeiten der Themenwahl und des vertieften Studiums.

## **DL-P-05**

### **Geophysikalische Experimente im Unterricht: magnetische Prospektion mit einem Smartphone**

***J. Tronicke, M. H. Trauth***

Universität Potsdam, Potsdam

Experimentelles Arbeiten und die Analyse beobachteter Daten stellen einen zentralen Teil des geophysikalischen Arbeitsablaufs dar. Für Lehrende, die die Grundlagen der Geophysik in einer einführenden Veranstaltung unterrichten, liegt eine wesentliche Herausforderung häufig darin, die theoretischen Grundlagen mit den experimentellen Arbeiten zu verknüpfen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die meisten geophysikalischen Experimente komplexe und damit häufig auch kostenintensive Messtechnik erfordern, während die in der Lehre zur Verfügung stehenden Ressourcen meist limitiert sind. Somit ist die Einbindung typischer, praxisnaher Experimente vor allem in einführenden Lehrveranstaltungen häufig nicht realisierbar oder macht aus didaktischer Sicht wenig Sinn. Trotzdem ist es wünschenswert, dass Studierende möglichst früh in der Ausbildung erste praktische Erfahrungen mit den Grundlagen des experimentellen Arbeitens (was neben der Datenakquisition auch die Analyse, Bearbeitung und Interpretation der Daten mit einschließt) sammeln. Auch zeigt die Erfahrung, dass selbstständiges Experimentieren und das Arbeiten mit eigenen Daten die Motivation der Studierenden fördert.

In diesem Beitrag diskutieren wir die Möglichkeiten, mit Smartphones geophysikalische Daten aufzuzeichnen und entsprechende Feldexperimente im Seminarraum zu imitieren. Wir fokussieren uns dabei auf die magnetische Prospektion als eine der Standardmethoden der angewandten Geophysik. Als Sensoren nutzen wir die Drei-Komponenten-Magnetometer, die in den meisten Smartphones verbaut sind. Unter Zuhilfenahme größtenteils frei verfügbarer Software-Lösungen (Apps) lassen sich diese Sensordaten auslesen, visualisieren und speichern. Als Beispiele zeigen wir die Resultate von verschiedenen Tischexperimenten, in denen wir entlang von einzelnen Profilen oder flächenhaft, die Anomalien einzelner Stabmagnete und auch komplexerer Strukturen erkundet haben. Diese Beispiele zeigen, dass viele fundamentale Charakteristika magnetischer Daten anhand solcher Smartphone-Experimente erlernt werden können und dass weiterhin die Datenqualität ausreichend ist, um auch weitere Schritte der Datenbearbeitung und Interpretation (inkl. einer Inversion der Daten) zu vermitteln. Somit kann der gesamte Ablauf eines typischen geophysikalischen Experimentes im Unterrichtsraum simuliert werden, wovon wir uns neue Impulse in der Gestaltung von Lehrveranstaltungen versprechen.

## **DL-P-06**

### **Master of Science in Geophysics at Kiel University**

***W. Rabbel***

Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität, Kiel

The internationally oriented postgraduate study program Master of Science "Geophysics" promotes the latest state of geophysical research and technology. The degree program teaches the student the theoretical and applied concepts of solid earth geophysics. The main foci are marine geophysics, applied geophysics including archaeological and soil prospecting, seismology, potential fields, and geoinformation. Close collaboration with the Helmholtz-Center for Ocean Research Kiel (GEOMAR) allows us to cover a particularly broad geophysical spectrum at CAU. This means that students may select courses based on their individual needs and areas of interest, and that they are taught by faculty that is actively pursuing research in these fields.

Apart from providing a sound physical and mathematical background we aspire to teach the students the critical assessment of scientific results and let them take responsibility to plan, carry out and evaluate their own field and laboratory projects. The soft skills learned in this program combined with the interdisciplinary professional education provide students with the necessary qualifications to work successfully in private companies and public research institutions alike.

Geophysics is a small field and thus most our research involves international partners. This is reflected in the large number of international students and that all courses are taught in English if foreign students are present.

The geophysics courses can be subdivided into three categories: core-courses, specialization and comprehensive courses (lectures, exercises and field courses). There are courses on general aspects of geophysics and underlying theory (20 credit points), specialization courses allowing the student to focus on specific themes of applied, marine or numerical geophysics (30 credit points), practical courses focusing on project-oriented digital processing of geophysical field data (20 credit points) and seminars (5 credit points). Furthermore, the participation in marine or terrestrial field campaigns is obligatory.

## **DL-P-07**

### **The Master program "Physics of the Earth and Atmosphere" at the Institute of Geophysics and Meteorology, University of Cologne**

***B. Tezkan, J. Saur, J. Wittke, A. Wennmacher***

Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie, Köln

The Institute of Geophysics and Meteorology at the University of Cologne offers the Master program "Physics of the Earth and Atmosphere" in cooperation with the University of Bonn, enabling the students to choose their elective modules from a broad range of topics. The courses are taught in English in order to open the program for international students and to improve the education of the German-speaking students in this research-oriented course. Small course sizes permit optimal support of the students and close academic student-instructor contact.

The precondition for admission to the Master program is a completed B. Sc. degree in

geophysics and/or meteorology, oceanography or climatology. Graduate students from related B. Sc. courses may apply as well, but there is the requirement that these B. Sc. courses must encompass at least 20 credit points (CP) in physics and 20 CP in mathematics. The student may choose its main focus to be “Geophysics” or “Meteorology”. The duration of study is four semesters, of which the first two consist of lectures, tutorials, and field courses whereas the last two consist of research-oriented modules. After successful completion of the program a M. Sc. degree is awarded.

The following modules are compulsory for all students: Prognostic Modelling (6 CP), Inverse Modelling (6 CP), Literature Seminar and Current Research Questions (9 CP), Project Work (15 CP), and Master Thesis (30 CP). Compulsory modules for the main focus “Geophysics” are: Direct Current and Electromagnetic Exploration Methods (6 CP), Advanced Geophysical Field Course (6 CP), Seismology (6 CP), Geophysics of the Solar System (6 CP), and Space Physics (6 CP). Compulsory modules for the main focus “Meteorology” are: Atmospheric Boundary Layer (6 CP), Clouds and Precipitation (6 CP), Physical Climatology (6 CP), Atmospheric Dynamics and Modelling (6 CP), and Atmospheric Radiation (6 CP). A preparatory module for students who from other areas shifted their focus to meteorology is offered. The students choose additional elective modules totaling at least 24 CP from a broad range of subjects, including mathematics and physics.

## **DL-P-08**

### **Studiengang Geoinformatik und Geophysik in Freiberg:**

#### **Der mathematisch-physikalisch-informatische Zweig der Geowissenschaften**

**S. Buske, H. Schaeben, K. Spitzer**

TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg

Geoinformatik und Geophysik haben viele Gemeinsamkeiten, die wir in unseren Studiengängen in Freiberg zusammenführen. Aufgabe der Geoinformatik ist es, ortsbezogene Daten systematisch zu erfassen, auszuwerten und darzustellen. Geophysik ist die Wissenschaft von der Physik der Erde, wobei wir uns in Freiberg hauptsächlich mit der Angewandten Geophysik beschäftigen. Die beiden Disziplinen durchdringen sich stark, da die Geoinformatik auf geophysikalische Daten angewiesen ist und die Geophysik rechnergestützte Methoden zur Datenerfassung und -auswertung benötigt. Grundlagen beider Fachrichtungen sind Methoden der angewandten Mathematik und Informatik, der Physik sowie wissenschaftliche Arbeitsmethoden zur Erforschung der Geosphäre. Daher ist die Bachelorausbildung beider Fachrichtungen zu 80% identisch und in einem gemeinsamen BSc-Studiengang an der TU Bergakademie Freiberg vereint. Unser Ausbildungskonzept legt besonderen Wert auf projektorientiertes Arbeiten und fachliche Kommunikation, um die Studierenden auf den beruflichen Alltag vorzubereiten. Die fachliche Vertiefung der beiden Disziplinen findet in jeweils einem MSc-Studiengang statt. Der Masterstudiengang Geoinformatik ist ein naturwissenschaftlicher, wissenschaftsbezogener Studiengang, der auf das Profil der Forschung (Prozesssimulation) abgestimmt ist und Informatik für die Geowissenschaften vermittelt. Der Masterstudiengang Geophysik ist ebenfalls stark forschungsbezogen und soll den Studierenden die Kompetenz vermitteln, komplexe

Probleme in den Geowissenschaften und anderen gesellschaftlichen Bereichen mit Hilfe geophysikalischer Methoden zu lösen. Eine moderne und zukunftsorientierte Geophysik umfasst dabei Mathematik, Physik, Geo- und Computerwissenschaften, wobei das Erlernen und Verstehen von Computersimulationstechniken im Zentrum der Ausbildung stehen. Leiten lassen wir uns in der Lehre durch unsere anwendungsorientierte Grundlagenforschung.

## **DL-P-09**

### **The study program “International Master of Applied and Exploration Geophysics”**

***F. Bleibinhaus<sup>1</sup>, A. Mazzotti<sup>2</sup>, R. Sachsenhofer<sup>1</sup>, R. Scholger Robert<sup>1</sup>, J. Kormann<sup>1</sup>, N. Gegenhuber<sup>1</sup>, S. Capaccioli<sup>2</sup>, A. Tognarelli<sup>2</sup>, A. Ribolini<sup>2</sup>, M. Aleardi<sup>2</sup>, E. Stucchi<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>Lehrstuhl für Angewandte Geophysik, Montanuniversität Leoben, Leoben, Austria,

<sup>2</sup>University of Pisa, Pisa, Italy

The Departments of Earth Sciences and of Physics, University Pisa (UP), and the Department of Applied Geosciences and Geophysics, Montanuniversität Leoben (MUL) have established a joint master program in Applied and Exploration Geophysics starting fall 2018. The study program is in English, and it covers theoretical and practical aspects of reflection and refraction seismology, signal analysis, inverse problems, potential fields, rock physics, reservoir and borehole geophysics, near-surface geophysics, and mining and engineering geophysics.

UP has an MSc program in Exploration and Applied Geophysics since 2007, having as partner industries ENI, Halliburton/Landmark and Enel GreenPower. MUL has an English MSc program in Applied Geosciences since 2016. The research focus at both universities is on seismic processing and inversion, and on rock physics, with an emphasis on energy exploration and environmental applications.

Students can enroll at either university. During their studies, they will spend at least one term at the partner university. Graduates will be awarded diplomas in Applied and Exploration Geophysics from MUL, and from UP.

## **DL-P-10**

### **Der Masterstudiengang Geophysik in Münster**

***U. Hansen, C. Thomas, M. Becken, S. Stellmach, V. Schmidt, J. Schmalz***

Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster

Der MSc Studiengang Geophysik in Münster ist angesiedelt im Fachbereich Physik und baut auf Kenntnissen der Geophysik in den Bereichen Seismologie, Angewandte Geophysik und Geodynamik auf. Solide Kenntnisse in Mathematik und Physik sind von Vorteil. Im Master Geophysik werden Kurse in Inversionstheorie, Numerischer Modellierung von geophysikalischen Prozessen sowie fortgeschrittene Vorlesungen zur Seismologie, zur seismischen Datenanalyse und Fluidodynamik angeboten. Als Wahlstudien stehen unter anderem Vorlesungen und Praktika aus der Physik und den Geowissenschaften zur Verfügung. Masterarbeiten werden in allen Bereichen der Geophysik angeboten, die an der Uni Münster vertreten sind (Geodynamik, Seismologie, Angewandte Geophysik).

## **DL-P-11**

### **The International Joint Master "Physics of the Earth" at the University of Vienna (Austria) and Comenius University Bratislava (Slovakia)**

**G. Bokelmann<sup>1</sup>, B. Meurers<sup>1</sup>, P. Mozco<sup>2</sup>, A. Ondrášková<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universität Wien, Institut für Meteorologie und Geophysik, Wien, Austria, <sup>2</sup>Comenius University Bratislava, Bratislava, Slovakia

The Joint Master study "Physics of the Earth" is a two-year programme offered by the major universities of Austria and Slovakia: University of Vienna and Comenius University in Bratislava. It focuses on the physics background for Physics of the Earth, in particular seismic wave propagation and data analysis, based on a profound education in Physics and Mathematics. Students learn to apply quantitative methods, how to observe and mathematically describe phenomena occurring in the physical environment and advance their analytical thinking. Quantitatively-oriented Bachelor studies in Physics or Geophysics prepare for the Master, and allow entering the programme.

## **EM Elektromagnetik/Georadar Vorträge**

### **EM-1-01**

#### **Georadar im Endlager Morsleben zur Erkundung des Internbaus im Grubenteil Marie**

**V. Gundelach**

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, B3, Hannover,

Die Salzstruktur der Allertalzone wurde im Bereich des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) von der Oberfläche aus durch Seismik und in den 90ern durch geologische Kartierungen, Aufschlussbohrungen und auch Georadar erkundet. Dennoch war der Internbau in einigen Bereichen nicht genau genug durch Messdaten belegt, um für den Verschluss des ERAM alle Szenarien abdeckend zu bestimmen. Bereits bei den Auffahrungen der Strecken in der Betriebsphase der ERAM und durch Erkundungsbohrungen konnten zahlreiche Details des Internbaus des Salinars erkannt werden. Georadar-Messungen in den Strecken durch BGR, K+S und DMT in den 90er Jahren lieferten weitere Strukturinformationen im näheren Umfeld der Strecken und dienten vorrangig zur Kartierung der Lage des Salzspiegels. In einigen Bereichen blieb jedoch die genaue Verteilung und Ausdehnung der Anhydritschollen unklar. Zur Klärung dieser Fragestellungen wurden Georadar-Messungen mit einer Mittenfrequenz von etwa 70 MHz auf verschiedenen Profilen in geeigneten Strecken durchgeführt. Die geringe Leitfähigkeit des Salzes ermöglicht es Reflexionen bis in Entfernungen von mehreren hundert Metern zu erfassen. Dort, wo die Leitfähigkeit erhöht war, wurden ergänzend Geoelektrik-Messungen durchgeführt mit denen die Leitfähigkeitsverteilung im Gebirge bestimmt und Ergebnisse zum strukturellen Bau abgeleitet werden konnten. Die Messungen führten zu einer Validierung und zum Teil zu einer Modifizierung des bestehenden räumlichen Salzstrukturmodells.

## **EM-1-02**

### **Radiomagnetotellurics for imaging mofette structures in the Eger Rift System, Czech Republic – a comparative study**

***P. Rulff<sup>1</sup>, U. Weckmann<sup>1</sup>, G. Willkomm<sup>1</sup>, L. Schmidt<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, <sup>2</sup>University of Uppsala, Uppsala, Sweden

In July 2017, radiomagnetotelluric (RMT) measurements were performed in the Eger Rift System above the Hartoušov Mofette structures. The aim of this work was to complement recent magnetotelluric (MT) studies in this region with near-surface measurements to investigate pathways of mineral fluids and magmatic CO<sub>2</sub>. Two different RMT systems were used for comparison and, more importantly, for development of a time series RMT processing.

Mofettes are natural degassing sites of magmatic CO<sub>2</sub> which can occur in form of dry gas fields or in combination with aqueous springs. The subsurface structures related to this geological feature can be imaged with electromagnetic methods, because either mineral fluids or pore spaces filled with gaseous CO<sub>2</sub> can cause significant resistivity contrasts to unmodified soil and rocks.

With Radiomagnetotellurics we are able to image the desired depth range of the upper 50 m. We recorded RMT data along eight profiles of 100-260 m length with the EnviroMT system of Uppsala University and the RMT system MK5SM25 from the University of Cologne. RMT utilises radio transmitters at discrete frequencies (10-1000 kHz) as source signal.

While the EnviroMT system already computes final results in terms of MT impedance tensor elements, time series can be obtained from the MK5SM25. They are typically analysed offline through the system software in a black-box approach, we want use recent developments in time series analysis and adapt the modular MT processing suite EMERALD used by GFZ Potsdam (Ritter et al., 1998; Weckmann et al., 2005). So far, we managed to read native data format of the MK5SM25 system and extract time series and calibration files. We tested several processing approaches and identified how typical MT processing has to be modified to deal with the characteristics of high frequency RMT time series. We investigated different filtering and decimation schemes as well as spectral windows to average high-energy Fourier coefficients onto target frequencies.

Data examples and a preliminary processing flow will be shown and discussed. With subsequent 2D and 3D inversion we image the shallow subsurface (< 40 m) below a dry degassing centre and a wet mofette. The electrical conductivity models show zones of high resistivity where dry degassing occurs while high electrical conductivities can be observed in the vicinity of the Hartoušov Mofette. These results will be compared with a 108 m deep drilling next to the wet mud pool of the mofette.

## **EM-1-03**

### **Investigation of deep mineral deposits in Germany: Multidimensional inversion of long offset CSEM data in time and frequency domain**

***W. Mörbe, P. Yogeshwar, B. Tezkan***

Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln, Köln

The objective of the BMBF funded DESMEX (Deep Electromagnetic Soundings for Mineral Exploration) project is the development of an electromagnetic exploration system which can be used for the exploration of mineral resources for depths down to 1000 m. In order to obtain a high data coverage as well as a high resolution, airborne and ground based methods are combined. In the framework of DESMEX, the University of Cologne performed ground based (long offset) transient-electromagnetic (LOTEM) measurements in an old mining area in eastern Thuringia, Germany. Within the LOTEM validation study, an independent multidimensional resistivity model of the survey area will be derived, which serves as a reference model for the semi-airborne concept and will eventually be integrated in a final mineral deposition model.

Over 170 E-Field datasets were recorded during two large scale DESMEX LOTEM surveys in 2016 and 2017. Additional information about the magnetic field was acquired by SQUID measurements conducted by the IPHT Jena. The achieved dataset exhibits a high data quality over the complete time range and the electrical field transients are well fitted using a conventional 1D inversion approach. However, the obtained subsurface models indicate a strong multidimensional subsurface with rather large variations in resistivity. Additionally, the time derivative of the vertical magnetic field exhibits sign reversals, which are a clear indication for a multidimensional subsurface.

Therefore, a multidimensional interpretation of the dataset was carried out using the time domain inversion code SINV of the University of Cologne. Although first modeling results already show the expected good conducting black shale anomaly, the datafit achieved by the inversion is not yet satisfying. For a further interpretation, the LOTEM data is transferred into frequency domain. Obtained 1D inversion models of the LOTEM data in frequency domain utilizing a synthetic current signal are well comparable with the time domain results and suggest that the dataset is suitable for frequency domain evaluation. In order to compare and improve the time domain inversion model and utilizing the advantage of freely available frequency domain inversion codes, a multidimensional inversion of the dataset in frequency domain is carried out. Here, we want to give an overview over the large scale LOTEM field survey and present first inversion models of the dataset.



## **EM-1-04**

### **Preliminary results of MT monitoring during reservoir engineering in IDDP2 (Iceland)**

***N. Haaf<sup>1,2</sup>, E. Schill<sup>1,2</sup>, Y. Abdelfettah<sup>3</sup>, R. Karlsdottir<sup>4</sup>, K. Arnasson<sup>4</sup>***

<sup>1</sup>Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Nukleare Entsorgung, Eggenstein-Leopoldshafen, <sup>2</sup>Technische Universität Darmstadt, Institute of Applied Geosciences, Darmstadt, <sup>3</sup>Université de Strasbourg et CNRS, EOST - École et Observatoire des Sciences de la Terre, Straßburg, France, <sup>4</sup>Iceland GeoSurvey (ÍSOR), Reykjavík, Iceland

The Horizon2020 project Deployment of deep enhanced geothermal systems for sustainable energy business (DEEPEGS) aims at demonstrating advanced engineering technologies in geothermal reservoirs under different geological conditions in Iceland and France. The concept of developing a deep EGS well at Reykjanes comprises injection of fluid underneath the conventional geothermal field to support production. Therefore, the 2,500 m deep RN-15 production well was deepened to 4,659m depth in the framework of the Icelandic Deep Drilling Program IDDP-2. The IDDP2 borehole is now the deepest borehole in Iceland. The focus of the here presented work is the magnetotelluric (MT) monitoring of the massive and soft hydraulic stimulations in this high enthalpy reservoir. Magnetotelluric monitoring during massive hydraulic stimulation may reveal information on the directional development of the reservoir and the evolution of preferential hydraulic connectivity.

In September 2016, two continuous MT stations, GUN and RAH, were installed during a MT monitoring campaign in Reykjanes. RAH is located 6km away from IDDP2 and GUN is 1km away from IDDP2. Each MT station is equipped with two electric dipoles in N-S and E-W direction, as well as three magnetic sensors oriented in N, E and vertical direction. Magnetotelluric monitoring was carried out between December 2016 and July 2017 with a sampling frequency of 512 Hz. The processing of the first results from the late drilling phase revealed the bad data quality of the MT station RAH hence it was stopped in May 2017. Consequently, MT data were processed using single site method. First results from the continuous monitoring during hydraulic stimulation reveal changes in the resistivity distribution over time that link to injection periods. However, for final interpretation, different possible sources of the signal changes will be investigated such as comparison with the variation of the Earth's magnetic field.

## EM-2-01

### First results from a SQUID-based semi-airborne electromagnetic measurement in the DESMEX project

**M. Schiffler<sup>1</sup>, A. Chwala<sup>1</sup>, M. Meyer<sup>3</sup>, H. Petersen<sup>3</sup>, A. Steuer<sup>3</sup>, T. Martin<sup>4</sup>, U. Meyer<sup>3</sup>, R. Rochlitz<sup>5</sup>, W. Mörbke<sup>6</sup>, P. Yogeshwar<sup>6</sup>, C. Nittinger<sup>7</sup>, M. Cherevatova<sup>7</sup>, M. Becken<sup>7</sup>, R. Stolz<sup>1</sup>, Transmitter control teams of the University of Cologne, the University of Münster and the Leibniz Institute of Applied Geophysics**

<sup>1</sup>Leibniz-Institut für Photonische Technologien, Forschergruppe Magnetometrie, Jena, <sup>2</sup>Supracon AG, Jena, <sup>3</sup>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, <sup>4</sup>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Berlin, <sup>5</sup>Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Sektion 2 Geoelektrik und Elektromagnetik, Hannover, <sup>6</sup>Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie, Köln, <sup>7</sup>Westfälische Wilhelms-Universität, Institut für Geophysik, Münster

New sensors and instruments for a semi-airborne electromagnetic system were developed as a part of the framework of DESMEX (Deep Electromagnetic Sounding for Mineral EXploration) project. The system implicates ground-based transmitters designed as a horizontal electrical dipole and high sensitive magnetic field receivers both in ground-based and airborne operation. The transmitters used in operation are the Long-Offset Transient ElectroMagnetic (LOTEM) source of the University of Cologne (base frequency 10.4 Hz) and the transmitter operated by the Leibniz Institute of Applied Geophysics (LIAG, 7.46 Hz).

We introduce the advanced SQUID (Superconducting Interference Device) based vector magnetometer deployed in a helicopter towed platform. The instrument contains three orthogonal SQUID magnetometers with a low intrinsic noise of about  $5fT_{\text{RMS}}/\sqrt{\text{Hz}}$  and a large dynamic range of  $>30\text{bit}$ .

The sensors were tested in October 2017 over a historical antimonite mine near Schleiz, Thuringia. The measurements using an airborne SQUID receiver showed an overall noise level of  $400\text{ pT}_{\text{RMS}}$  for the total field and  $5\text{ nT}_{\text{RMS}}$  for the individual vector components during flight operation. In addition, a new motion noise compensation scheme was employed to reduce eddy-current effects. The high bandwidth from DC to 30 kHz of the measurement system enables to calculate frequency dependent transfer functions between the magnetic field vector and the transmitter current input signal up to 5 kHz. These spectral compartments in multiples of the base frequencies will be used for a 3D electromagnetic inversion and interpreted in order to retrace electrical conductivity anomalies down to more than 1 km in depth.

We gratefully acknowledge the support of the technical staff of the University of Cologne, the LIAG, the WWU Münster, and the Federal Agency of Geosciences and Resources as well as the support of the local authorities and inhabitants in Saxony and Thuringia.

## **EM-2-02**

### **Subsurface utilities investigation using Electro-magnetic techniques**

**M. Hassan**

Cairo University / Petrobel, Cairo, Egypt

Detection and mapping of subsurface buried utilities using Electro-magnetic techniques (GPR), Which was applied in Cairo - Alexandria road using a 200 MHz unshielded antenna in Bi-static mode through reflection sounding profiling design.

Field Work procedures:

- a- Select a test line
- b- Select a meaning of towing the antennas
- c- Calibration of the antennas
- d- Run the surveys
- e- Re-Run the test lines

Office Work procedure:

- 1-Processing of data:
  - a- Time zero correction
  - b- Rubber banding
  - c- Dc removal filter
  - d- Time gain
  - e- Band-pass filter
  - f- Moving average filter

2-interpretation of data:

Detection of the subsurface utilities and detailed information about their depths and their expected diameters

*\*Conclusion:*

The interpretation of the data shows the subsurface utilities (Electric Cables and water pipes) Passing through the area of study with a great accuracy and detailed information about their depths and their expected diameters.

# EM Elektromagnetik/Georadar A1 – Poster A

## EM-P-01

### **Anisotropy of permittivity in salt rocks?**

**V. Schmidt, J. Klinge**

Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster

The complex permittivity is a key parameter for the propagation of electromagnetic waves in rocks. In salt rocks, the imaginary part of the permittivity is small, which makes ground penetrating radar (GPR) measurements with a large depth of penetration possible. Attenuation and reflection of radar waves in salt deposits is usually controlled by rocks that contain clay and fluids. Measurements of the complex permittivity on natural salt rock samples is therefore useful to predict the wave propagation in the rock and help to interpret results of GPR measurements. We have measured the spectral permittivity of salt rocks with different clay content in the frequency range of 10 MHz to 300 MHz using a network analyzer. It was found that even a low clay content increases the real and the imaginary part of the permittivity significantly. The anisotropy of the permittivity could be measured using a cylindrical measuring cell, in which the sample can be rotated. Clay minerals show a strong anisotropy of their electrical properties. When there is a preferred orientation of clay minerals, there could be also an anisotropy of permittivity, which would cause amplitude and phase distortions even if the medium is otherwise homogeneous. We have detected a significant anisotropy for samples with clay content of about 1%, whereas it was absent in samples without clay but from the same stratigraphic unit. However, it has still to be proven that the clay minerals cause the anisotropy or if fluid inclusions connected to the clay particles play a role.

## EM-P-02

### **Aquifer imaging using 2D Magnetic Resonance Tomography with structural constraints from GPR**

**C. Jiang, J. Igel, R. Dlugosch, T. Günther, M. Müller-Petke**

Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Hannover

Magnetic resonance tomography using elongated transmitter and in-loop receiver arrays (MRT-ETRA) is designed to efficiently image the two-dimensional aquifer structures (Jiang et al, 2015). However, MRT suffers from limited abilities to resolve sharp boundaries. We make use of the GPR reflections to generate structural mesh boundaries for modelling of MRT-ETRA and apply a sharp boundary constraint in the inversion of the surface NMR data. A comprehensive survey including GPR, MRT and other geophysical methods has been conducted at the test site Schillerslage, Germany. Inversion results of the surface NMR show that the imaging of water content and relaxation time is improved using the mesh including the GPR reflections, and further improved by applying the sharp boundary constraint. In addition, multiple datasets of MRT ETRA can be combined together to invert the water content and of the entire profile which provides a more stable and robust result comparing with separate datasets. The results of the structural constrained inversion is compared with drilling results and laboratory measurement on samples derived from the

drilling. We found the results derived from the coupled inversion to be significantly improved compared to single inversions and in good agreement with the drilling results.

References:

Jiang, C.; Müller-Petke, M.; Lin, J. & Yaramanci, U. Magnetic resonance tomography using elongated transmitter and in-loop receiver arrays for time-efficient 2-D imaging of subsurface aquifer structures *Geophysical Journal International*, 2015, 200, 824-836

### **EM-P-03**

#### **Automatic identification of fresh-saline groundwater interfaces from airborne EM data in Zeeland (NL)**

***B. Siemon<sup>1</sup>, E. van Baaren<sup>2</sup>, W. Dabekaussen<sup>3</sup>, J. Delsman<sup>2</sup>, J. Gunnink<sup>3</sup>, M. Karaoulis<sup>2</sup>, P. Pauw<sup>2</sup>, T. Vermaas<sup>2</sup>, U. Meyer<sup>1</sup>***

<sup>1</sup>BGR, Hannover<sup>2</sup>Deltares, Utrecht, Netherlands, <sup>3</sup>TNO, Utrecht, Netherlands

In a setting of predominantly saline surface waters in Zeeland, the Netherlands, the only available shallow fresh groundwater resource is present in the form of fresh-water lenses floating on top of the saline groundwater. This fresh water is vital for agricultural, industrial, ecological, water conservation and drinking water functions. Water works and other stakeholders require information on the spatial salinity distribution for implementation in their groundwater models. An essential first step for managing the usable water properly is to know the location of fresh-saline groundwater interface. As traditional salinity monitoring is laborious, airborne electromagnetics, which is fast and can cover large areas in short time, is an efficient alternative. Therefore, a consortium of BGR, Deltares and TNO conducted FRESHM Zeeland (FRESH Salt groundwater distribution by Helicopter ElectroMagnetic survey in the Province of Zeeland) in 2014-2017. An area of more than 2000 km<sup>2</sup> was surveyed using BGR's helicopter-borne geophysical system totaling to about 9,600 line-km. The HEM data, after inversion to 2.5 Million resistivity-depth models, served as base-line information for further interpretation. In order to estimate the fresh-water occurrences two approaches were applied. The first one, a probabilistic Monte Carlo approach, combines HEM resistivities, 3D lithology model data (GeoTOP), laboratory results (formation factor and surface conductivity) and local in-situ groundwater measurements for the translation of resistivity to Chloride concentration. The second one uses HEM results only to derive the thicknesses of the fresh-water lenses. As the latter, however, does not use information on lithology, an accurate discrimination between fresh and saline groundwater applying fixed resistivity thresholds would fail if clayey sediments exist, which would obscure a classification of pore-water conductivities. Therefore, the fresh-saline groundwater interfaces are identified based on steepest resistivity-depth (log-log) gradients appearing within a certain resistivity range. The bounds of this range are defined by resistivity values, which clearly correlate with fresh or saline water, independent of the lithology type. The results of both approaches are discussed.

## EP Extraterrestrische Physik B1 – Poster B

### EP-P-01

#### Messungen der Polarlichtelektronen beim ersten Perijove-Durchgang der Raumsonde Juno

**M. Roskopf<sup>1</sup>, J. Saur<sup>1</sup>, B. H. Mauk<sup>2</sup>, G. Clark<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universität zu Köln, Geophysik und Meteorologie, Köln, <sup>2</sup>The Johns Hopkins University, Applied Physics Laboratory, Laurel, Vereinigte Staaten von Amerika

Um das Innere und die Magnetosphäre von Jupiter besser zu verstehen, wurde am 5. August 2011 die Raumsonde Juno in Richtung Jupiter gestartet. Am 4. Juli 2016 erreichte Juno die Umlaufbahn des Planeten. Diese Arbeit beschäftigt sich mit den von Juno gemessenen energetischen Elektronen in Jupiters Magnetosphäre, welche dessen starke Aurora erzeugen. Im ersten Teil dieser Arbeit werden theoretisch erwartete Elektronenbahnen für unterschiedliche Pitch Winkel dargestellt, um das Verhalten von Elektronen in einem Dipolfeld zu untersuchen. Der zweite Teil beschäftigt sich mit den von Juno gemessenen Elektronen im Energiebereich von 25 keV bis 800 keV, welche im ersten Perijove-Durchgang am 27. August 2016 aufgenommen wurden. Als Perijove bezeichnet man den Teil der Flugbahn, bei dem Juno am nächsten an Jupiter ist. Aus diesen Daten werden die Energieflüsse der Elektronen für den Perijove-Durchgang sowie die Energieverteilungen für verschiedene Pitch Winkel dargestellt. Daraus geht hervor, dass die bisherigen Annahmen zur Entstehung von Jupiters Hauptaurora nicht mit den neugewonnenen Erkenntnissen übereinstimmen. Die Daten zeigen, dass Elektronen sowohl zu Jupiter hin- als auch von ihm wegbeschleunigt werden. Die neuen Messungen legen nahe, dass die Elektronen nicht durch statische Potentiale, sondern durch stochastische Prozesse beschleunigt werden.

## GD Geodynamik Vorträge

### GD-01

#### Seafloor geodesy to monitor deformation offshore Northern Chile (GeoSEA)

**K. Hannemann<sup>1</sup>, H. Kopp<sup>2</sup>, D. Lange<sup>2</sup>, F. Petersen<sup>2</sup>, J. McGuire<sup>3</sup>, M. Moreno<sup>4</sup>, J. Bedford<sup>4</sup>, S. Barrientos<sup>5</sup>, E. Contreras-Reyes<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie, Leipzig, <sup>2</sup>GEOMAR Helmholtzzentrum für Ozeanforschung Kiel, Kiel, <sup>3</sup>Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, United States, <sup>4</sup>GFZ Geoforschungszentrum Helmholtzzentrum Potsdam, Sektion 4.1 Dynamik der Lithosphäre, Potsdam, <sup>5</sup>University of Chile, Santiago, Chile

Within the last decade, satellite-based geodetic techniques such as GPS or InSAR have increased our knowledge of absolute and relative tectonic plate motions and deformation processes related to the seismic cycle. However, the electromagnetic waves used by these techniques hardly penetrate sea water and therefore geodetic observations often end at the shoreline. This observational gap can be closed by the nascent field of seafloor geodesy. The GeoSEA (Geodetic Earthquake Observatory on the SEAfloor) array uses acoustic

telemetry for relative positioning at a mm-scale resolution. The acoustic seafloor transponders are able to intercommunicate with each other for a period of up to 3.5 years. The data are uploaded from the seafloor to the sea surface via an acoustic modem allowing to assess data quality and possible deformation before the final recovery. Overall, the GeoSEA array is able to continuously monitor horizontal and vertical seafloor displacement rates.

In December 2015, we installed 23 autonomous acoustic transponders in three sub-arrays on the forearc and the outer rise of the South American subduction zone around 21°S. This area has been described as a mature seismic gap, which had not experienced a  $M_w > 8.5$  subduction earthquake since the Iquique  $M_w = 8.8$  of 1877. The 2014 Iquique earthquake ( $M_w = 8.1$ ) affected the northern fraction of the gap, rupturing only a small portion of this segment. The networks monitor deformation in the central part of the seismic gap, in a region that remains unbroken providing an opportunity to quantify earthquake-related deformation. The first 11 months of data have been retrieved in October 2016 showing a good signal quality. For different water depths, we observe that the resolution limit (between 2-12 mm per km) mainly depends on the temporal variability of the water column. Although we achieve a mm-scale precision with our acoustic ranging system, we observe no significant deformation above our resolution limits. We compare our observations with the distribution of locking degree and surface strain estimated with onshore cGPS stations of the Plate Boundary Observatory Chile (IPOC). The predicted strains are in-line with our observations, indicating a similar range of deformation. Therefore, we conclude that if an instantaneous movement of several millimetres would have taken place, the seafloor geodetic arrays would have picked it up.

## GD Geodynamik B1 – Poster B

### GD-P-01

#### Double Diffusive Convection under the Influence of Shear

*M. Lösing, M. Wenske, S. Stellmach*

Westfälische Wilhelms-Universität, Münster

A special case of convective motion is Double Diffusive Convection (DDC) which is characterized by two components diffusing at different rates. Even in a stably stratified fluid an instability can start to grow. For example in the ocean one possible scenario is a stabilizing temperature gradient and a destabilizing salinity gradient, so that warm and salty water overlies colder freshwater. Under proper conditions, deflected particles are accelerated up- or downwards, forming structures resembling "fingers". In the ocean DDC could play a part in the upwelling of nutrients and may have an impact on vertical mixing and on the global thermohaline circulation. A proper understanding of DDC is therefore also important in climate change research. Apart from the ocean DDC can occur in many other natural systems such as magma chambers, stars or giant planets.

In this work we focus on the effects of shear on fingering convection. The goal is to gain insight into realistic configurations where DDC does not occur isolated, but is typically superposed by background motion. Studies on this problem are still sparse and the dynamics

is not completely understood. Numerical simulations are carried out using a pseudo-spectral code which solves the Navier-Stokes equations for DDC under the influence of an imposed background shear flow. First 2D results show a suppressing effect of the shear on the fingering convection with the instability vanishing completely for strong enough shear flows. This is accompanied by a decrease of the heat and salt transports with increasing shear rate. Extending the simulations to three dimensions salt sheets are observed and the effect of shear on vertical transport is less pronounced.

## GE Geoelektrik/IP Vorträge

### GE-1-01

#### **Die induzierte Polarisation von Zement- und Betonproben, simuliert mit erweiterten Modellen der Membranpolarisation**

**A. Hördt<sup>1</sup>, M. Bucker<sup>2</sup>, J. A. Huisman<sup>3</sup>, P. Leroy<sup>4</sup>, H. Stebner<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, <sup>2</sup>Universität Bonn, Bonn,

<sup>3</sup>Forschungszentrum Jülich, Institut für Bio- und Geowissenschaften, Jülich, <sup>4</sup>French Geological Survey, BRGM, Orleans, Frankreich

Mit der spektralen induzierten Polarisation wird die frequenzabhängige elektrische Impedanz von Lockermaterialien und Festgesteinen gemessen. Die Methode hat das Potential, zerstörungsfrei wichtige Eigenschaften, wie z.B. hydraulische Kenngrößen von Sedimenten, oder den Zustand von Baumaterialien, abzuschätzen. Um einen Zusammenhang zwischen den gemessenen Impedanzspektren und den Zielparametern herzustellen, sind Theorien erforderlich, welche für eine vorgegebene geometrische Struktur die elektrische Impedanz simulieren können. Wichtige existierende Theorien beruhen entweder auf Gesteinskörnern, oder auf einer Sequenz von zylindrischen Poren. Die porenbasierten Modelle basieren auf dem Effekt der Membranpolarisation, die hier behandelt wird.

Um eine möglichst große Bandbreite an verschiedenen Materialien abzudecken, und die Anwendbarkeit auf die Untersuchung von Baumaterialien zu bewerten, wird versucht, Impedanzspektren, die an Zement- und Betonproben gemessen wurden, mit erweiterten Modellen der Membranpolarisation zu simulieren. Die Spektren zeichnen sich verglichen mit Sedimentgesteinen u.a. durch sehr hohe spezifische Widerstände und damit sehr hohe Formationsfaktoren aus. Dies führt dazu, dass bei hohen Frequenzen (im kHz-Bereich) Verschiebungsströme, bzw. die Maxwell-Wagner Polarisation, deutliche Effekte hervorrufen. Zudem schließt die durch ihren hohen Zementationsgrad charakterisierte Porenraumstruktur eine realistische Behandlung mit kornbasierten Modellen aus.

Um die Spektren von Zement- und Betonproben zu simulieren, wurde das Ausgangsmodell der Membranpolarisation, welches aus einer Sequenz zweier zylindrischer Poren besteht, zum Einen durch Parallelschaltung zweier unterschiedlicher Systeme, zum anderen durch große statistische Netzwerke, erweitert und um die Maxwell-Wagner Polarisation ergänzt. Damit lassen sich die gemessenen Phasenspektren qualitativ simulieren, bei gleichzeitiger Erklärung der hohen Formationsfaktoren.



## GE-1-02

### Kapazitive Geoelektrik zur Bestimmung frequenzabhängiger elektrischer Parameter - Anwendung in der Permafrostforschung und 2D Inversion

J. Mudler<sup>1</sup>, G. Fiandaca<sup>2</sup>, C. Hauck<sup>3</sup>, A. Hördt<sup>1</sup>, P. K. Maurya<sup>2</sup>, A. Przyklenk<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, <sup>2</sup>Department of Geoscience, Aarhus University, Aarhus, Dänemark,

<sup>3</sup>Department of Geoscience, Université de Fribourg, Fribourg, Schweiz

Die Durchführung klassischer geoelektrischer Messungen ist auf sehr harten Oberflächen und über Untergründen sehr hohen elektrischen Widerstandes schwer zu realisieren. Eine Alternative bildet hierbei die kapazitive Geoelektrik. Die Stromeinspeisung geschieht über eine galvanisch entkoppelte 4-Punkt Konfiguration. Dabei werden Plattenelektroden verwendet, die wie Kondensatoren mit dem Untergrund fungieren. Gegenüber der Gleichstromgeoelektrik hat die kapazitive Geoelektrik weiterhin den Vorteil, dass neben dem spezifischen Widerstand  $\rho$  auch die Größe der elektrischen Permittivität  $\epsilon_r$  ermittelt werden kann. Der Frequenzbereich der eingespeisten Wechselströme hat eine hohe Bandbreite und geht von wenigen Hz bis zu relativ hohen Frequenzen von 100kHz. Dieser Frequenzbereich schließt damit oberhalb an die Frequenzen der verwandten Methode der Induzierten Polarisation an und kann als hochfrequente Ergänzung dieser gesehen werden. Da die Information über  $\epsilon_r$  im Imaginärteil liegt, sind phasensensitive Messungen vonnöten. Um beide elektrischen Parameter bestimmen zu können, müssen Real- zu Imaginärteil der Impedanz in der gleichen Größenordnung liegen. Dies ist gegeben, wenn der Widerstand im Untergrund hoch ist und die Permittivität groß. Permafrostgebiete erfüllen genau diese Bedingungen und sind damit potenzielle Anwendungsobjekte der kapazitiven Geoelektrik. Aus den gemessenen komplexen Impedanzen können durch geeignete Parametrisierung die Spektren von  $\epsilon_r(f)$  und  $\rho(f)$  bestimmt werden. Dafür wird ein Cole-Cole Modell verwendet, welches die charakteristischen Größen eines Niederfrequenzwertes  $\epsilon_{DC}$ , eines Hochfrequenzwertes  $\epsilon_{HF}$  und des Gleichstromwiderstandes  $\rho_{DC}$  beinhaltet. In der vorgestellten Arbeit wurden Messungen mit der Vielzweck-Apparatur „Chameleon“ (Radic Research) in der Schweiz und in Norwegen durchgeführt. Die gemessenen Daten können mittels einer neuartigen frequenzabhängigen 2D-Inversion aus dem Inversionstool AarhusInv ausgewertet werden. Dadurch wird ein Abbild der zweidimensionalen Verteilung der elektrischen Parameter im Untergrund gegeben. Die Messwerte für die Permittivität liegen dabei im Bereich von  $\epsilon_{DC} = 30 - 350$  und  $\epsilon_{HF} = 2 - 8$ . Verglichen dazu sind für die Permittivität von reinem Eis Werte im Bereiche von  $\epsilon_{DC} = 60 - 300$  und  $\epsilon_{HF} = 3 - 30$  charakteristisch. Ein Ziel ist die Interpretation der gemessenen Daten im Hinblick auf Permafrost. Langfristiges soll erreicht werden, dass aus den Messwerten der Eisgehalt im Boden bestimmt werden kann.

## **GE-1-03**

### **Simulation von Quecksilberporosimetriedaten**

**M. Lühns, A. Hördt, H. Stebner**

Technische Universität Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik, Braunschweig

Bei Messungen mittels Spektraler Induzierter Polarisation (SIP) sind bei der Interpretation Informationen über den Porenraum nützlich. Diese können unter anderem mit Quecksilberporosimetrie (MICP: Mercury Injection Capillary Pressure; MIP: Mercury Intrusion Porosimetry) gewonnen werden. Die Daten werden bei der Simulation des Membranpolarisationseffekts genutzt, um ein realistisches Porennetzwerk zu erstellen. Um Quecksilberporosimetriedaten für das Netzwerk zu simulieren, soll analog dazu ein Netzwerkmodell für MICP entwickelt werden. Genau wie bei der Simulation der Membranpolarisation wird eine Zweizylindergeometrie genutzt, wofür es bisher keine MICP-Simulation gibt.

Bei der Quecksilberporosimetrie wird Quecksilber unter Druck in ein poröses Medium gepresst. Da es sich um eine nicht benetzende Flüssigkeit handelt, muss ein Druck aufgewandt werden, um sie zu füllen. Dieser Kapillardruck wird durch die Washburn-Gleichung beschrieben.

Im Netzwerkmodell werden Porenkombinationen in einem dreidimensionalen Netzwerk miteinander verbunden. Die Porenkombinationen bestehen aus je zwei Zylindern mit unterschiedlichen Radien und Längen. Während die Längen lediglich für die Volumenberechnung eine Rolle spielen, bestimmt der Porenradius dabei den Druck, der aufgebracht werden muss, um die Pore zu füllen. Werden die Poren absteigend der Größe nach befüllt, kann aus dem kumulativen Volumen leicht der Porenradienverteilung berechnet werden. Allerdings kann die Volumenberechnung durch sogenanntes verstecktes Porenvolumen verfälscht werden. Dabei handelt es sich um Poren mit einem größeren Radius als dem der vorausgehenden Pore. Dies hat zur Folge, dass die Pore erst befüllt werden kann, wenn die vorhergehende, schmalere, befüllt wurde. Daher muss die Zylinderanordnung innerhalb der Porenkombination ebenso analysiert werden, wie die Porenradien im Vergleich zu den umliegenden Poren.

Es zeigt sich, dass das verborgene Porenvolumen im Netzwerkmodell durch die Reihenfolge der Zylinder realisiert werden kann, was erhebliche Unterschiede bei der Berechnung des kumulativen Volumens zur Folge haben kann. Das Volumen kann dabei sowohl dadurch verborgen sein, dass innerhalb einer Porenkombination der Zylinderradius zunimmt, als auch, dass ganze Porenkombinationen durch die angrenzenden Kombinationen abgeschirmt werden.

## GE-1-04

### Beobachtung der Trocknung von Gesteinen mit Spektraler Induzierter Polarisation

Z. Zhang<sup>1</sup>, A. Weller<sup>2</sup>, S. Kruschwitz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Southwest Petroleum University, School of Earth Science and Technology, Chengdu, China, Volksrepublik, <sup>2</sup>TU Clausthal, Institut für Geophysik, Clausthal-Zellerfeld, <sup>3</sup>Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

Bei der Trocknung von Gesteinen vermindert sich der Anteil des Wasservolumens im Porenraum, der als Sättigung bezeichnet wird. Mit abnehmender Sättigung sinkt die elektrische Leitfähigkeit des Gesteins. Die Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit von der Sättigung wird durch ein Potenzgesetz entsprechend der 2. Archie-Gleichung beschrieben:  $\log(\sigma) = n \log(S_w)$ , wobei  $n$  der Sättigungsexponent ist. Bei der Trocknung von Gesteinen muss beachtet werden, dass die Wasserleitfähigkeit mit abnehmender Sättigung zunimmt, da die Konzentration der im Wasser gelösten Salze ansteigt. Das hat zur Folge, dass die bei Trocknungsexperimenten bestimmten Sättigungsexponenten deutlich kleiner sind als bei Verdrängungsexperimenten (z.B. Wasser durch Öl) mit gleichbleibender Wasserleitfähigkeit. Bei der Spektralen Induzierten Polarisation wird die komplexe elektrische Leitfähigkeit des Gesteins als Funktion der Frequenz betrachtet. Für den Real- und Imaginärteil der elektrischen Leitfähigkeit werden unterschiedliche Sättigungsexponenten bestimmt.

Wir haben an zwei Sandsteinproben (Langenauer und Gravenhorster Sandstein) und einem Baumberger Kalksandstein Trocknungsexperimente durchgeführt. Die Sättigung wurde schrittweise von 100 % bis auf 10 % reduziert. In jeder Sättigungsstufe wurden an den Proben die Spektren der komplexen elektrischen Leitfähigkeit aufgezeichnet. Unsere Experimente zeigen, dass die Sättigungsexponenten für den Imaginärteil der komplexen elektrischen Leitfähigkeit mit 1,23 bis 1,59 deutlich größer sind als die des Realteils mit Werten zwischen 0,41 und 0,90. Dieser Unterschied resultiert aus der Tatsache, dass der Imaginärteil der Leitfähigkeit weniger stark mit zunehmender Wasserleitfähigkeit ansteigt als der Realteil. Für den Realteil der elektrischen Leitfähigkeit wird nach der 1. Archie-Gleichung ein linearer Zusammenhang zwischen Wasserleitfähigkeit und Gesteinsleitfähigkeit erwartet. Der Anstieg des Imaginärteils mit der Wasserleitfähigkeit kann mit einem Potenzgesetz mit einem Exponenten zwischen 0,10 und 0,62 beschrieben werden. Unsere Experimente zeigen, dass der Imaginärteil der elektrischen Leitfähigkeit wesentlich deutlicher auf die Austrocknung von Gesteinen reagiert und damit ein wirksamer Indikator zur Überwachung von Sättigungsänderungen sein kann.

## **GE-2-01**

### **Elektrische Eigenschaften von Karbonaten - Untersuchungen an massiven und zertrümmerten Proben**

**J. H. Börner<sup>1</sup>, A. Rieger<sup>2</sup>, V. Herdegen<sup>2</sup>, E. Müller-Huber<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik und Geoinformatik, TU Bergakademie, Freiberg, <sup>2</sup>Institut für thermische, Umwelt- und Naturstoffverfahrenstechnik, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg,

<sup>3</sup>Institut für Angewandte Geowissenschaften, Fachbereich Angewandte Geophysik, TU Berlin, Berlin

In Vorbereitung auf Messungen der spektralen induzierten Polarisation (SIP) an Karbonaten unter Einwirkung von CO<sub>2</sub> bei erhöhten Drücken und Temperaturen wurden vier Karbonatgesteine unter Normalbedingungen umfassend petrophysikalisch charakterisiert. Als Probenmaterial dienten dabei neben Bohrkernen auch zertrümmerte Proben in neun Zerkleinerungsstufen mit Partikelgrößen zwischen 10mm und <63µm. Neben SIP und NMR wurden an allen Proben die BET-Oberfläche, die Quecksilberporosimetrie, die Zirkularität und die Porosität bestimmt. Zusätzlich wurden die Gesteine nasschemisch und mineralogisch charakterisiert. An ausgewählten Proben erfolgte eine microCT-Analyse.

Wir präsentieren die Ergebnisse der Messungen an Bohrkernen und zertrümmerten Proben. Es lassen sich systematische Abhängigkeiten der petrophysikalischen Eigenschaften von der Partikelgröße nachweisen. Darüber hinaus zeigen wir die nachweisbaren Korrelationen zwischen den Porenraumeigenschaften und SIP-Parametern.

Unsere Untersuchungen erlauben grundsätzliche Rückschlüsse auf die elektrischen Eigenschaften verschiedener Karbonattypen und deren Abhängigkeiten von Porenraumcharakteristika. Das Ziel des verfolgten Ansatzes ist eine Verallgemeinerung der Erkenntnisse in einer modellhaften Beschreibung.

## **GE-2-02**

### **Numerical Study of Membrane Polarization for a Network of Connected Pores**

**N. Rezaei, A. Hördt**

Technical University of Braunschweig, Institute for Geophysics and Extraterrestrial Physics, Braunschweig

Spectral Induced Polarization (SIP) is a geophysical technique that measures the frequency dependent electrical conductivity of a material. The potential of using SIP to predict the hydraulic conductivity of the ground has been investigated since 1950s. However, the dependency of existing models on porosity and the geometry of the pore space makes the prediction of hydraulic conductivity challenging as these quantities are difficult to measure accurately in a field setting. Facing these challenges, it is necessary to develop numerical models, simulating the effect of the pore space geometry at the microscopic scale. The membrane polarization mechanism is one potential theory for describing the polarization phenomenon. It was primarily suggested by Marshal and Madden, who solved the underlying equations analytically for a 1-D pore system. The model consists of a

sequence of active and passive zones, where the counter ion mobility is restricted in active zones. This concept has been further developed to a sequence of wide and narrow cylindrical pores, parametrizing the pore space by real radius and length.

In this work the simulation software COMSOL Multiphysics has been used to numerically solve the governing equations of charge transport for more realistic geometries such as a 3-D network of interconnected pores. The network includes several wide and narrow cylindrical pores of different sizes. In order to simulate the membrane polarization effect, a potential difference is applied across the network and the subsequent effect of the electrical double layer is resembled by assigning a radius-dependent mobility to each pore. Several simulations could justify the effect of different pore size combinations on the spectral behavior of ion fluxes within the network. The numerical study of the pore networks can be considered as a major tool for further simulation of explicit pore space structures and exploring the relationship between hydraulic and electrical parameters, which is not with other existing analog models possible.

### **GE-2-03**

#### **Multidimensional inversion of full waveform time domain induced polarization data: Investigation of the LIAS-Epsilon black shales near Bramsche/Germany**

***J. Hauser, P. Yogeshwar, B. Tezkan***

Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie, Köln

Induced polarization measurements in the time domain (TD-IP) were carried out in the northern part of Rulle, near Bramsche/ Osnabrück. The study area is well known for a lateral IP anomaly caused by a thermally metamorphosed layer of Jurassic clays which marks the Lias/ Dogger boundary. The IP measurements were realized with the ABEM Terrameter LS device using the full waveform data acquisition mode. In total, six parallel profiles with a length of 202.5 m and an electrode spacing of 2.5 m were investigated. A gradient array with a separate cable spread was chosen to eliminate electromagnetic disturbances by capacitive coupling of the potential and current electrodes. Additionally, measurements were carried out on a reference profile where DCR, RMT and SP data are available. The scalar measurement of the apparent chargeability as well as the full waveform data in the form of processed IP transients are analyzed. For the inversion of the apparent chargeability a recently developed inversion algorithm of the University of Cologne is used. The obtained indicates a distinct IP anomaly with a lateral extent of 100 m in a depth of 20 m. The reconstructed anomaly has a chargeability of 200 mV/V and a resistivity of 1  $\Omega$ m. The anomaly is associated with the LIAS Dogger formation. The full waveform data is processed using two different schemes in order to perform a comparative study. In the final step, the obtained transients are inverted in 2D and 3D using a recently developed TD-IP algorithm based on the Cole-Cole model.

# GE Geoelektrik/IP B1 – Poster B

## GE-P-01

### Grenzen der Geoelektrik bei der Auflösung sedimentärer Strukturen

S. Klingler<sup>1</sup>, P. Dietrich<sup>2</sup>, C. Leven<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universität Tübingen, Zentrum für Angewandte Geowissenschaften, Tübingen,

<sup>2</sup>Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ, Leipzig

Die hydrogeologischen Eigenschaften von Grundwasserleitern werden oft stark von sedimentären Strukturen beeinflusst. Geoelektrische Methoden können zur flächenhaften Kartierung der elektrischen Widerstandsverteilung im Untergrund eingesetzt werden, jedoch sind Anomalien mit zu geringer Größe oder mangelndem Widerstandskontrast nicht auflösbar. Um die Messergebnisse optimal zu interpretieren ist es daher notwendig diese Auflösungsgrenzen von Anomalien in Geometrie und Kontrast vorab zu untersuchen. Wir präsentieren einen Ansatz zur Evaluation der Auflösbarkeit unterschiedlicher Untergrundstrukturen durch Vorwärtsmodellierung. Die Untersuchungen finden im Arbeitsgebiet des „Catchment as Reactors“ (CAMPOS) Projekts im Ammertal bei Tübingen statt.

Bohrkerne im Auengebiet weisen tonreiche Sedimentabfolgen aus einem postglazialen Ablagerungsgebiet auf. Ein geologisches 3D Modell aus vier Lithofazies diente als Grundlage für die Entwicklung eines geophysikalischen Untergrundmodells. Alternative Szenario-Modelle beinhalteten die in den fluviatilen Sedimenten erwarteten größeren Rinnen-Ablagerungen mit höheren elektrischen Widerständen, sowie besser leitfähige Tonlinsen potentieller Auenlehme.

Die synthetischen Datensätze geoelektrischer Oberflächenmessungen werden durch numerische Vorwärtsmodellierung simuliert. Ein Vergleich der Simulationsergebnisse des Basismodells mit den Alternativ-Szenarien identifiziert dann mangelhaft aufgelöste Strukturen. Zudem lassen sich Schwellenwerte für Größe und Widerstandskontraste einer Anomalie durch iterative Simulation des gleichen Szenarios mit unterschiedlichen Parametern bestimmen. Im Fall des Ammertals konnten aufgrund der hohen Leitfähigkeiten im tonreichen Untergrund selbst große Anomalien nicht eindeutig rekonstruiert werden. Bis zu fünffache Widerstandskontraste waren notwendig, um simulierte Rinnen-Strukturen in den Inversionsergebnissen der Messdaten eindeutig aufzulösen.

Die auf Szenario-Modellen basierende Vorwärtsmodellierung liefert nicht nur ein Werkzeug zur effizienten Planung geoelektrischer Feldkampagnen, sondern auch Grenzwerte von Größe und Widerstandskontrast einer Anomalie können bestimmt werden. Zukünftig kann der Workflow neben der Evaluation sedimentären Strukturen auch zur Planung und Modellierung von geoelektrischen Salztracer Versuchen verwendet werden.

## **GE-P-02**

### **Complex conductivity of a shear zone type gold deposit: case study from the Kervian gold deposit (Iran)**

***F. Sharifi<sup>1</sup>, M. Sonntag<sup>2</sup>, J. H. Börner<sup>2</sup>, A. R. Arab-Amiri<sup>1</sup>, A. Kamkar-Rouhani<sup>1</sup>, M. Alipour-Asl<sup>3</sup>***

<sup>1</sup>Shahrood University of Technology, School of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood, Iran, Islamic Republic of, <sup>2</sup>Technical University Bergakademie Freiberg, Institute of Geophysics and Geoinformatics, Freiberg, <sup>3</sup>Shahrood University of Technology, School of Geosciences, Shahrood, Iran, Islamic Republic of Iran

The Kervian gold deposit is situated in the regional ductile-brittle shear zone along the northern part of the Sanandaj-Sirjan metamorphic zone (north-west Iran). There, the occurrence of gold is associated with quartz veins and pyrite minerals within silicified and sulfide alteration zones, respectively. The pyrite appears in two varieties: A) fine-grained auriferous pyrite and B) coarse-grained barren pyrite. Therefore, the aim of this study is to investigate whether the distinction between these two varieties of pyrite is possible using the SIP method and to explore a possible application to the gold exploration.

For this purpose, SIP measurements on 33 fully water-saturated core samples acquired from borehole cores have been carried out using a SIP FUCHS III equipment (Radic research) in the frequency range of 1.46mHz – 20KHz.

Double peaks in the phase and imaginary conductivity spectra are observed for some core samples. These peaks might be related to the occurrence of the two pyrite varieties. The SIP data has been interpreted by means of both a two-phase Cole-Cole model and a Debye Decomposition approach. In order to verify the interpretation mineralogical analyses have been conducted.

#### *Key words*

Shear zone type gold mineralization, SIP, Double phase Cole-Cole relaxation model, Debye Decomposition.

## **GE-P-03**

### **Messgenauigkeit von Geoelektrik im Flachwasserbereich**

***A. Fediuk, E. Erkul, D. Wilken, T. Wunderlich, W. Rabbel***

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel

Die Methode ERT wird häufig für geologische und archäologische Fragestellungen im Wasser angewendet. Der Vorteil von Messungen im Wasser ist eine gute Ankopplung der Elektroden an das Medium, sodass kontinuierliche geschleppte Messungen möglich sind. Eine Herausforderung ist die zum Teil hohe Leitfähigkeit des Wassers, die die Eindringtiefe von geoelektrischen Messungen beeinträchtigt.

Wir präsentieren eine Studie, bei der wir die Messgenauigkeit von statischen (auf dem Meeresgrund liegenden und an der Oberfläche schwimmenden Elektroden) sowie von bewegten (an der Oberfläche schwimmenden Elektroden) Messungen gegenüberstellen. Fehlerquellen bei dieser Art von Messungen sind unter anderem:

- a) Fehler im Geometriefaktor durch langperiodische Wellen ( $\pm 10$  cm), Messungenauigkeiten der Wassertiefe ( $\pm 10$  cm) sowie einem lateral verkürzten Elektrodenabstand durch ein gebogenes Messkabel (aufgrund von Wellen, Wind, Strömung und kurvigen Profilen).
- b) Die Auflösungsgenauigkeit der Messapparat ( $\pm 7,5 \mu\text{V}$  und  $\pm 19 \mu\text{A}$ )

Für statische Messungen wird die Reproduzierbarkeit der Messkurven (inverse Schlumberger Konfiguration) eines geoelektrischen Wasserkabels in Form von 10 Wiederholungsmessungen bestimmt. Die auf Grund liegenden Messungen weisen mit Mittelwerten von  $3,39 \Omega\text{m}$  und absoluten Standardabweichungen  $\pm 0,01 \Omega\text{m}$  (relative Standardabweichung von 0,3 %) eine bis zu sechsmal niedrigere Standardabweichung auf als die schwimmenden Messungen ( $3,42 \Omega\text{m} \pm 0,06 \Omega\text{m}$ , rel. Standardabweichung von 1,7 %). Der Abstand der Potentialelektroden spielt nur bei den schwimmenden Messungen eine Rolle, hier sind größere Abstände fehlerbehafteter.

Verschieden gewählte Messzyklen weisen keine abweichenden Fehler auf, sodass bei bewegten Messungen sehr kurze Messintervalle (0.175s) genutzt werden können, um Verschmierungseffekte entlang des Profils zu reduzieren. Bewegte Messungen wurden unter obigen Konfigurationen und Konditionen gemessen. Um die Reproduzierbarkeit der Daten zu untersuchen, wurden die geschleppten Profile in Bins eingeteilt und die Messwerte der Bins gemittelt. Bei einer Messgeschwindigkeit von 0.43 m/s und einer Punktdistanz von 38 cm werden bei einer Binsgröße von 2m ca. 5,2 Werte gemittelt. Die Binmittelwerte liegen zwischen 1,5 -2,6  $\Omega\text{m}$ , mit Standardabweichungen von 0,02- 0,2  $\Omega\text{m}$  (rel. Standardabweichungen von 1-5%). Die höheren Fehler können größtenteils durch laterale Untergrundvariationen innerhalb eines Bins erklärt werden.

## GE-P-04

### Labormessungen der Spektral Induzierten Polarisation an Gesteinsproben mit beliebiger Geometrie

**S. Costabel<sup>1</sup>, T. Martin<sup>1</sup>, T. Günther<sup>2</sup>, C. Wießner<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), B2.1 Geophysikalische Erkundung - Technische Mineralogie, Berlin, <sup>2</sup>LIAG, Hannover

Im Projekt DESMEX (Rochlitz et al., 2017) wird ein semi-airborne Verfahren zur Erkundung der elektrischen Leitfähigkeit in großen Tiefen (1000 m) entwickelt. Die geologische Interpretation der geophysikalischen Felddaten aus dem DESMEX-Testgebiet im Bergaer Sattel (Thüringen) ist auf petrophysikalische Daten angewiesen. Das zur Verfügung stehende Probenmaterial stammt entweder aus geologischen Sammlungen oder aus oberflächennahen Aufschlüssen und Tagebauen. Aber bei vielen Proben konnten die üblichen Bohrzylinder für die Anwendung in einer SIP-Messzelle nicht präpariert werden, da die Proben mechanisch nicht stabil genug waren oder nicht verändert werden durften. Daher musste ein nichtinvasives Verfahren zur Ankopplung der Elektroden entwickelt werden.

Die galvanische Ankopplung der Elektroden und der Spannungsabgriff wurden über in der Medizin übliche EKG-Elektroden realisiert. Über ein elektrisch leitfähiges Gel wird auch



bei rauer und unebener Oberfläche eine gute Ankopplung gewährleistet. Der zur Berechnung des spezifischen Widerstands  $\rho$  notwendige K-Faktor kann allerdings nicht durch übliche Näherungen abgeschätzt werden, da die Ankopplungsfläche sowie die komplexe Geometrie der Probe berücksichtigt werden müssen. Das Problem wird durch numerische Modellierungen zur elektrischen Feldausbreitung mit der Software BERT unter Benutzung des Complete Electrode Model (Rücker und Günther, 2011) gelöst: Die Oberflächenstruktur der Probe und die Lage der Elektroden wird durch einen 3D-Scan erfasst, dann ein räumliches FE-Gitter erzeugt sowie das elektrische Feld und damit der individuelle K-Faktor berechnet. Auf diese Weise kann ein sehr großer  $\rho$ -Bereich gemessen werden: von graphit-führendem Schwarzschiefer mit weniger als  $10 \Omega\text{m}$  bis zu kompaktem Diabas mit mehr als  $10^6 \Omega\text{m}$ . Die bekannten SIP-Phasenverschiebungen beim Schwarzschiefer konnten qualitativ reproduziert werden. Allerdings erzeugen einige Gele ebenfalls Phaseneffekte, die sich innerhalb weniger Stunden durch Austrocknung ändern können. Eine systematische Studie zum SIP-Verhalten verschiedener Gele bzw. eine mögliche Korrektur entsprechender Verfälschungen sind Gegenstand zukünftiger Forschung.

Referenzen:

Rochlitz et al. (2017). DESMEX - Deep Electromagnetic Sounding for Mineral Exploration, Part I & II, 1st Geo Electromagnetic Workshop 2017, Februar 2017, Indonesien.

Rücker und Günther (2011). The simulation of finite ERT electrodes using the complete electrode model. *GEOPHYSICS*, 76(4), F227-F238.

## **GE-P-05**

### **Kombinierte Auswertung von Bohrloch- und Oberflächen-Gleichstromgeoelektrik Messungen in Krauthausen/Deutschland**

***N. Höring, B. Tezkan, P. Yogeshwar, R. Bergers***

Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie, Köln

Im Rahmen dieser Arbeit wurden kombinierte Bohrloch und Oberflächen Geoelektrik Messungen auf dem Testfeld Krauthausen des Forschungszentrums Jülich durchgeführt. Dabei wurden (a) reine Multi-Elektroden Oberflächen Messungen (b) Oberflächen Messungen mit 2 Elektroden im Bohrloch und (c) reine Bohrloch Messungen mit einer vom Institut für Geophysik und Meteorologie der Universität zu Köln entwickelten 4 Punkt Sonde aufgenommen. Ziel der Studie ist es die Vorteile der kombinierten Interpretation dieser Messungen zu untersuchen. Dazu wird betrachtet, inwiefern 1. eine Joint Inversion ein verbessertes Modell bezüglich der Modellstruktur und der Auflösung liefert und 2. die Einbindung von Bohrloch Daten mittels A-priori Informationen Modelle mit mehr Informationsgehalt liefern. Die Ergebnisse werden in der Arbeit dargestellt und mit bereits bekannten Informationen über den Untergrund des Testfeldes verglichen.

# GO Geophysik in der Öffentlichkeit B2 – Poster B

## GO-P-01

### Sustainable Low Impact Mining – SLIM

J. A. Sanchidrián<sup>1</sup>, C. Tauchner<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Spain, <sup>2</sup>Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Angewandte Geophysik, Leoben, Austria

The main economic, technological and environmental challenges of small mining include restricting of high investment costs, reducing of waste and large tailings, identifying and addressing environmental impacts, and improving flexibility, automation and safety of operations. However, at the moment, there is no quick-fix available to reduce the environmental impact from mines, and it is neither realistic to expect production solutions very distant from today's technologies. Considering that the present mining technology relies on rock blasting and mobile mining equipment for loading and transportation, the major challenge is to generate a new sustainable systemic solution that affects positively the relevant mining value chain.

The H2020 project “Sustainable Low Impact Mining – SLIM” aims to develop a cost-effective and sustainable selective low impact mining solution based on non-linear rock mass fragmentation by blasting models, airborne particulate matter, vibration affections and nitrate leaching mitigation actions for exploitation of small mineral deposits. For this purpose, the project uses a new generation of explosives and an advanced automatic blast design software based on improved rock mass characterisation and fragmentation models for optimum fragmentation as well as minimum rock damage and far-field vibrations.

SLIM project is led by UPM, the Technical University of Madrid. The inter-sectoral consortium consists in research institutions in Sweden (LTU) and Austria (MUL and TUG), validators in relevant environments as 3GSM (AT) for rock fragmentation and blasting software and MAXAM (ES) for explosives. Furthermore, three mines in Spain and Austria offer a wide field of practice. These are ORGIVA (ES), a fluorite mine, the iron mine of the ERZBERG (AT) and a quarry in the region Granada operated by ARNO (ES). An important focus of the project is also social scientific research on the relationship between mining companies and their regional environment. Under the heading of “Social Innovation” SLIM project conducts environmental and economic assessments, communication and dissemination activities as well as social awareness actions. Responsible partners are BRGM (FR), INVESTORNET (DK), MINPOL (AT), and ZABALA (ES).

## GO-P-02

### **GEOSax - Geophysikalische Explorationsmethoden zur Erkundung von Erzvorkommen im Erzgebirge/Sachsen**

**M. Scheunert<sup>1</sup>, O. Hellwig<sup>1</sup>, G. Semmler<sup>2</sup>, R. Gootjes<sup>3</sup>, J. Blechta<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, <sup>2</sup>TU Bergakademie Freiberg, Institut für Informatik, Freiberg, <sup>3</sup>TU Bergakademie Freiberg, Institut für Numerische Mathematik und Optimierung, Freiberg, <sup>4</sup>TU Chemnitz, Fakultät für Mathematik, Chemnitz

Durch den hohen Bedarf an Ressourcen und den damit verbundenen Anstieg der Rohstoffpreise gibt es in Sachsen ein steigendes Interesse sowohl an alten und zum Teil unerschlossenen Erzlagerstätten als auch an der Erkundung von bisher unentdeckten Vorkommen. Zu den bekannten Lagerstätten zählen u.a. Zinnvorkommen im Vogtland (Gottesberg) und im Erzgebirge (Geyer, Altenberg, Ehrenfriedersdorf), seltene Erden bei Storkwitz nahe Leipzig, Flussspatvorkommen (Niederschlag) und Lithium (Altenberg) im Erzgebirge sowie Kupfervorkommen in der Lausitz. Für die wirtschaftliche Bewertung und zukünftige Erschließung ist neben dem vorhandenen Wissen aus mehreren Jahrhunderten intensiven Bergbaus eine weitere geophysikalische Erkundung erforderlich. Bei der Erschließung von Kohlenwasserstofflagerstätten hat die interdisziplinäre Charakterisierung mit geophysikalischen und geowissenschaftlichen Methoden bereits ein hohes Niveau erreicht, wodurch sich die Erfolgsquote von wirtschaftlichen Bohrungen und Reservoirerschließungen deutlich erhöht hat. Im Gegensatz dazu besteht bei der Erkundung von mineralischen Rohstoffen ein hoher Forschungs- und Entwicklungsbedarf, da sich die etablierten geophysikalischen Verfahren der Kohlenwasserstoffexploration, insbesondere die 3D- und 4D-Seismik aber auch Methoden der Controlled-Source-Elektromagnetik, nicht ohne Weiteres auf mineralische Lagerstätten übertragen lassen. Im Rahmen eines vom Europäischen Sozialfond geförderten Projekts arbeitet deshalb eine Nachwuchsforschergruppe an den beiden sächsischen Universitätsstandorten Freiberg und Chemnitz daran, die Methoden der seismischen und elektromagnetischen Erkundung mit Unterstützung der numerischen Mathematik im Hinblick auf die Erfordernisse der Erzkundung weiterzuentwickeln und physikalische Modelle von Lagerstätten mit hoher Auflösung zur Verfügung zu stellen. Das Projekt umfasst Experimente zur Datenakquisition im Versuchs- und Forschungsbergwerk Reiche Zeche der TU Bergakademie Freiberg, bei denen die Erkundung von der Erdoberfläche aus mit untertägigen Messungen verknüpft wird. Für die Verwaltung, Verknüpfung, Bewertung und Visualisierung existierender und neuer Geodaten werden darüber hinaus Datenbankmodelle entwickelt. Das Poster illustriert die Themenbereiche aus Geophysik, numerischer Mathematik und Geoinformatik sowie deren Verzahnung. Ferner wird auf die Rückkopplung des Projekts auf die regionale Wirtschaft sowie die Qualifizierung der Nachwuchswissenschaftler eingegangen.

# GR Gravimetrie Vorträge

## GR-01

### Ein integrativer geodätisch-gravimetrischer Ansatz zur Erkundung von Subrosion im Erdfallgebiet Hamburg Flottbek – Oberflächendeformation und Massentransfer

A. Weise<sup>1</sup>, G. Gabriel<sup>1</sup>, T. Kersten<sup>2</sup>, S. Schön<sup>2</sup>, L. Timmen<sup>2</sup>, D. Vogel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover, <sup>2</sup>Institut für Erdmessung, Leibniz Universität Hannover, Hannover

Erdfälle sind durch Auslaugung löslicher Gesteine langsam bis plötzlich stattfindende Senkungsereignisse an der Erdoberfläche. Insbesondere in urbanen Gebieten stellen sie eine Gefährdung dar. Im BMBF-Verbundprojekt SIMULTAN (**S**inkhole **I**nstability: **i**ntegrated **MULTi**-scale monitoring and **A**nalysis) soll die Untersuchung und Überwachung von Erdfallgebieten mit Methoden der Geophysik, Petrophysik, Geodäsie und Hydrologie zur Entwicklung eines Früherkennungssystems für Instabilität führen, sowie in Kombination mit Modellierungen das Prozessverständnis fördern.

Ein Fokusgebiet sind die Senkungsgebiete Wobbe See und Flottbek Markt in Hamburg mit geringen Senkungsraten um 1 mm/Jahr. Als Ursache werden Lösungsprozesse im Kontext mit dem Othmarschen-Langenfelde Diapir unter Hamburg vermutet.

In dem integrativen geodätisch-gravimetrischen Ansatz werden Oberflächendeformation und Massenumlagerung infolge Subrosion auch mit dem Ziel der Überwachung des Erdfallgebietes beobachtet. Vierteljährlich wiederholte Nivellement- und Gravimetrie-Kampagnen an 8 Punkten (seit 01/2016) liefern erste Ergebnisse: Einerseits deutet sich ein Trend zu langfristiger Subsidenz in der Wobbe See an, in Übereinstimmung mit Ergebnissen der GNSS-Messungen, und andererseits treten rund um Flottbek-Markt bisher vorwiegend saisonale Variationen der Höhendifferenzen auf, die mit Hydrologie korrelieren.

Ob im urbanen Bereich potentielle Massenänderungen nachweisbar sind, wird mit wiederholten Präzisions-Schweremessungen erkundet. Das Ergebnis sind reproduzierbare und signifikante zeitliche Variationen der Schweredifferenzen (Std.abw.  $\approx \pm 1 \mu\text{Gal}$ ), die ebenfalls hydrologisch bedingte saisonale Variationen enthalten, bis zu  $12 \mu\text{Gal}$ , bedingt durch lokale Gegebenheiten an den Messpunkten wie Topographie und verschiedenartige Bodenversiegelung.

Eine Korrelation mit Bodenwassergehalt und Grundwasservariationen ist offensichtlich. Die angestrebte Modellierung und Korrektur des hydrologischen Effektes ermöglicht, eventuell maskierte kleine Subrosions-Effekte durch Massentransfer zu separieren. Der Anschluss der relativen Methoden an übergeordnete Referenzsysteme ermöglicht die großräumige Stabilitätskontrolle. Mittels GNSS wird an die Koordinatensysteme DHHN2016 und ETRS89 angeschlossen, wobei urbane Bedingungen neue Ansätze wie adaptive, dynamische Elevationsmasken und verlängerte Registrierzeiten erfordern. In der Schwere werden jährlich Absolutmessungen realisiert, die Effekte der Hydrologie bestätigen.

## GS Geschichte der Geophysik B2 – Poster B

### GS-P-01

#### Versuche zur Erklärung des Polarlichts durch österreichische Forscher

##### **B. Besser**

Österr. Akad. d. Wissenschaften, Institut für Weltraumforschung, Graz, Österreich

Im Mittelalter und der frühen Neuzeit waren Polarlichtsichtungen, besonders in mitteleuropäischen Breiten, (relativ) seltene Ereignisse, die damals physikalisch nicht verstanden werden konnten und deshalb sehr oft mit politischen Ereignissen/Veränderungen in Zusammenhang gebracht wurden. Davon geben uns mehrfach Eintragungen in spätmittelalterliche Annalenwerke und nach Erfindung der Buchdruckkunst sogenannte Einblattdrucke („Sensationsmeldungen“) Kunde. Ein besonderes Beispiel für Österreich ist ein Nürnberger Einblattdruck zu einer Sichtung eines Nordlichts nahe Hainburg (Niederösterreich) im Jahre 1562.

Erst mit der Weiterentwicklung (Geo)Wissenschaften ab Mitte des 18. Jahrhunderts wird das Polarlicht auch zum Thema wissenschaftlicher Erörterungen. Der Wiener Mathematiker/Astronom Maximilian Hell entwickelt, unter dem Eindruck von Nordlichtsichtungen während seines Aufenthaltes in Tromsø zur Beobachtung des Venusdurchganges 1769, die damals verbreitete „optische Theorie“ des Polarlichts weiter. Die alternative „elektrische Theorie“ des Polarlichts wird kurz darauf vom in Wien tätigen Gelehrten Paul Mako (Pál Makó de Kerekgede) in einem Aufsatz aufgegriffen und favorisiert.

Ungefähr 100 Jahre nach Hell und Mako rückt das Polarlichtphänomen wiederum in den Forscherblick eines Österreichers. Carl Weyprecht (1838-1881), der Kapitän des Forschungsschiffs „Tegetthoff“, ist zwischen 1872 und 1874 auf einer Polarexpedition nördlich von Nowaja Semlja unterwegs und wird mit Schiff und Mannschaft dort vom Polareis eingeschlossen. Während der eineinhalbjährigen Eisdrift wird nicht nur das „Franz Josefs-Land“ entdeckt, sondern Weyprecht beobachtet und dokumentiert auch ausgiebig die Polarlichterscheinungen. Nach der Rückkehr Ende 1874 nach Wien bearbeitet er seine Beobachtungsaufzeichnungen und veröffentlicht mehrere wissenschaftliche Arbeiten, darunter auch zum Problem der Höhe des Polarlichts.

Die Ausführungen werden durch eine Auswertung von in Zeitungen dokumentierten Polarlichtsichtungen in Österreich zwischen 1760 und 1880 ergänzt.

# GT Geothermie/Radiometrie *Vorträge*

## GT-01

### **Exploration und Charakterisierung des Malm-Aquifers im bayerischen Molasse-Becken – das Projekt GeoParaMoL**

**H. von Hartmann, E. Meneses Riosecco, B. Wawerzinek, J. Ziesch, H. Buness, R. Thomas**

Leibniz Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover

Das süddeutsche Molassebecken ist aufgrund der günstigen hydraulischen Eigenschaften der Karbonatplattform des Oberen Jura (Malm) das wichtigste geothermische Reservoir in Deutschland. Zahlreiche tiefe Geothermieranlagen rund um München sind bereits in Betrieb. Das Potential des Aquifers ist jedoch bei weitem nicht ausgeschöpft; die Stadtwerke München streben im Projekt GRAME(1) eine flächenhafte Nutzung an, um bis 2040 ihre Fernwärmeversorgung vollständig auf erneuerbare Energien umzustellen. Die Karbonatplattform ist stark heterogen; neben vielen erfolgreichen Projekten gab es auch Fehlschläge. Dies erfordert eine detaillierte Exploration und Charakterisierung. Das Projekt GeoParaMoL(2) baut auf einer 170km<sup>2</sup> großen 3D-Seismik im S und W Münchens auf. Die Techniken, mit denen eine umfassende Beschreibung des Reservoirs erreicht werden sollen, bestehen u.a. aus struktureller Interpretation, Retrodeformation, Attribut- und Faziesanalysen, Scherwellenregistrierungen und thermisch-hydraulischen Langzeitmodellen.

Die 3D-Seismik zeigt ausschließlich Abschiebungen, z.T. auch mit Seitenverschiebungskinetik, deren Einfallswinkel sich beim Übergang von den harten Kalken des Oberjuras zur weniger kompetenten tertiären Molasse von 75-90° auf 60-70° reduziert. Die größte Störung erreicht Versatzhöhen von 350 m und ist durch eine Reihe von vorgeschalteten Gräben gekennzeichnet. Dolinen, die z.T. störungsgebunden sind, erreichen einen Durchmesser von bis zu 600 m. Der Ablagerungsraum der Karbonatplattform konnte durch eine Klassifizierung verschiedener Attribute differenziert und seismische Fazieszonen als Grundlage der Reservoirmodellierung abgebildet werden. Zur Unterstützung der Faziesanalysen werden 3K-Registrierungen der 3D Seismik herangezogen; ein aus VSP-Messungen abgeleitetes vp/vs Verhältnis von 2,0 in der tieferen Molasse führte zu einer verbesserten Abbildung mithilfe eines auf den Konversionspunkt ausgerichteten Binnings (ACP). Alle Daten fließen in ein thermischhydraulisches Modell ein, welches die Langzeitstabilität der geothermischen Energieextraktion voraussagt. In diesem Modell werden u.a. unterschiedliche Konfigurationen von Förder- und Injektionsbohrungen untersucht.

(1) GRAME: Ganzheitlich optimierte und nachhaltige Reservoirerschließung für tiefergeothermische Anlagen im bayerischen Molassebecken

(2) GeoParaMoL: Geophysikalische Parameter zur faziellen Interpretation des Malm und Modellierung des thermisch-hydraulischen Langzeitverhaltens

## GT-02

### Fault zone characterization using magnetotelluric data – A case study from Latin America

*S. Held, E. Schill, M. Pavez, T. Kohl*

Karlsruhe Institute of Technology, Institute of Applied Geosciences, Karlsruhe

Geothermal systems and also volcanic centers are often located at crustal weak zones. In the Andean Cordillera of southern Chile, a close relationship between volcanic centers and also geothermal systems and major fault zones is observed. A high resolution, broad-band magnetotelluric survey was used to study the impacts of two regional fault zones: (1) the Liquiñe-Ofqui Fault Systems (LOFS), a 1200 km long intra-arc dextral fault zone and (2) the Villarrica-Quetripillán-Lanín volcanic lineament running parallel to the Mocha-Villarrica Fault Zone (MVFZ), which is described as an oblique-to-the-arc fault zone.

In southern Chile mid-crustal conductors, thus zones of anomalous, elevated conductivity, appear to concentrate along major fault zones. The survey aimed at tracing the fault zones towards depth to reveal a relationship between faults and the known conductors. Two major geoelectric strike directions were revealed by tensor decomposition following the strike of the regional fault zones. 2-D inversion characterizes fault zone expansion and orientation down to depth of >10 km, where the brittle-ductile transition is expected. A connection of the mid-crustal conductor to the fault zones is indicated from the presented data.

## GT-03

### GeoPLASMA-CE: Vergleichbarkeit von Thermal Response Tests - Erste Ergebnisse

*H. K. Zschoke<sup>1</sup>, G. Götzl<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>geoENERGIE Konzept GmbH, Freiberg, <sup>2</sup>Geologische Bundesanstalt, Wien

Das vom Interreg CENTRAL EUROPE Programm geförderte Projekt GeoPLASMA-CE (Shallow Geothermal Energy Planning, Assessment and Mapping Strategies in Central Europe) befasst sich mit unterschiedlichen Aspekten der Oberflächennahen Geothermie im urbanen und ländlichen Raum Mitteleuropas. Ein Ziel des Projektes ist es, den Marktanteil der Oberflächennahen Geothermie für Heiz- und Kühlzwecke zu erhöhen und den Wissensaustausch zwischen wissenschaftlichen Experten, Verwaltungsbehörden und sonstigen Akteuren der Oberflächennahen Geothermie in den beteiligten Staaten zu fördern. Im Rahmen des Projektes wird eine webbasierte Plattform für geowissenschaftliche Experten und die interessierte Öffentlichkeit entwickelt, um das gewonnene Wissen über Ressourcen und Herausforderungen der Oberflächennahen Geothermie zu verbreiten. Dafür beschäftigen sich die Projektpartner unter anderem mit der Erhebung zusätzlicher Daten um das oberflächennahe geothermische Potenzial in den Pilotregionen zu beschreiben. Eine der verwendeten Messtechniken ist der Thermal Response Test zur in-situ Bestimmung der effektiven Wärmeleitfähigkeit. Im Rahmen des Projekts führen drei Partner mit unterschiedlichen Geräten die Messungen durch. Doch wie vergleichbar sind die erhobenen Daten der drei Messgeräte? Um zu gewährleisten, dass die Messungen nicht durch äußere Einflüsse verfälscht werden, wurden verschiedene Randbedingungen festgelegt, wie z.B. nach wie vielen Tagen nach Fertigstellung der Bohrung gemessen

werden kann. Zudem soll an ausgewählten Erdwärmesonden ein Benchmarktest mit allen drei Testgeräten durchgeführt werden.

#### **GT-04**

### **An update on the VEGAS project (improved hazard analysis for induced seismicity during exploration, construction, and operation of geothermal energy plants)**

*L. Krieger<sup>1</sup>, H. Deckert<sup>1</sup>, S. Abe<sup>1</sup>, G. Rümpker<sup>2</sup>, U. Schneider<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>igem - Institut für geothermisches Ressourcenmanagement, Mainz, <sup>2</sup>Institut für Geowissenschaften, Goethe-Universität Frankfurt, Frankfurt, <sup>3</sup>ESWE Versorgungs AG, Wiesbaden

Geothermal energy projects cannot be planned and implemented without detailed consideration of the risk of induced seismicity. Hence, it is of vital importance to estimate and evaluate the respective hazard potential in advance, based on geological, geophysical and engineering parameters. We develop a workflow for an improved forecast/estimation of effects of local seismic events within the region of influence of geothermal exploration sites and existing power plants.

We have implemented a physically accurate modelling of local seismic events including the interactions of rock mechanics and hydro-mechanical effects under the influence of real stress fields. This allows us to simulate the abundant seismicity based on the geometry and physical parameters of real faults. From these data, we can infer the resulting effective seismic source including the spatial and temporal distributions of seismic moment rates.

The combination of information on the source parameters and pre-calculated Green's functions databases for various source-receiver geometries allows us to efficiently generate seismic wave fields for a large variety of modelled source configurations. This approach enables a statistical analysis for the sets of resulting seismic signals at the surface, yielding a range of expectable peak ground velocities and accelerations. These are then interpreted in terms of seismic hazard for the vicinity of the geothermal exploration site.

Additionally, we use detailed local geological models from geophysical exploration data in order to extend the spatial range of the simulations for seismic wave amplitudes at the surface. We then incorporate these results into our model to obtain cost-effective estimates for the amplitudes of seismic wavefields for a significantly enlarged region.

We present the current state of our project, which includes an application to a planned geothermal energy project in the Wiesbaden area (Hessia, Germany), as well as our experiences with the application of H/V-spectral ratios towards the estimation of local inhomogeneities within the regional structure of seismic velocities.



## GT-05

### **GeoTief Wien - Seismische Exploration für Tiefe Geothermie auf neuen Wegen mit MEMS- und 3-Komponenten-Empfängern**

**M. Schreilechner<sup>1</sup>, P. Keglovic<sup>2</sup>, M. Jud<sup>1</sup>, G. Wessely<sup>3</sup>, E. Lüschen<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Geo5 GmbH, Leoben, Österreich, <sup>2</sup>Wien Energie GmbH, Wien, Österreich, <sup>3</sup>Geo5, Leoben, Österreich

Die Wien Energie GmbH erforscht mit dem Projekt „GeoTief Wien“ die potentiellen Nutzungsmöglichkeiten der hydrothermalen Geothermie im östlichen Raum Wiens. Es wird dabei das hydrothermale Potential für eine erneuerbare Fernwärmeversorgung in Wien analysiert. Die neogenen Sedimente der Beckenfüllung des Wiener Beckens erreichen in diesem Gebiet eine Mächtigkeit von bis zu 4000 m. Direkt unter den neogenen Sedimenten liegen Gesteinseinheiten der Ostalpen (Flyschzone, Kalkalpin, Grauwackenzone und Zentralalpin) von komplexer Struktur und Tektonik. Die hydrothermalen Reservoirs liegen dabei in Tiefenbereichen zwischen 3500 m und 6000 m im Kalkalpin, das aufgrund seiner petrophysikalischen Eigenschaften (primäre Porosität und sprödes Verhalten bei tektonischer Beanspruchung) gute Durchlässigkeiten ausbilden kann. In einem ersten Schritt wurden im Zeitraum Februar-März 2017 auf zwei sich rechtwinklig kreuzenden ca. 12 km langen Linien reflexionsseismische 2D-Messungen nach der Vibroseis-Methode durchgeführt. Kern der 2D-Messungen sind neue innovative Messtechniken. Statt Geophonbündeln in gewöhnlich großen Abständen wurden digitale Akzelerometer (MEMS) in dichten Abständen (10 m) als Einzelsensoren eingesetzt. Mit ebenfalls dichten Vibratorpunktabständen (10m/20m) ergibt sich eine deutlich erhöhte vertikale und horizontale Strukturauflösung. Die Sensoren wurden als 3-Komponenten-Empfänger ausgeführt, so dass die zusätzliche Auswertung der Scherwellen zu einer verbesserten lithologischen und gesteinsphysikalischen Interpretation und zur Bestimmung des  $V_p/V_s$ -Verhältnisses führt, das auch als Basis zur Abschätzung einer assoziierten Seismizität dienen kann. Wir berichten über Ergebnisse der reflexionsseismischen Daten sowie tomographischen Auswertungen der P- und S-Wellen.

## GT-06

### **Site assessment for a generic geothermal underground research laboratory:**

#### **GeoLaB**

**E. Schill<sup>1,2</sup>, T. Kohß, I. Sass<sup>2</sup>, J. Meixner<sup>3</sup>, J. Grimmer<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Nukleare Entsorgung, Eggenstein-Leopoldshafen, <sup>2</sup>Technische Universität Darmstadt, Institut für Angewandte Geowissenschaften, Darmstadt, <sup>3</sup>Karlsruhe Institute of Technology - Applied Geosciences, Karlsruhe

High flow rate injection and related hydromechanic interaction are most important factors in reservoir development of Enhanced Geothermal Systems (EGS). GeoLaB, a geothermal underground research laboratory (URL), is proposed for controlled high flow rate experiments (CHFE) to address limiting comprehension of coupled processes connected to EGS reservoir flow conditions. As analogue for typical EGS development, CHFE require

necessary hydro-mechanic conditions to cope EGS reservoirs with a connected fracture network in crystalline basement rock, sufficient hydraulic fracture transmissivities, a strike-slip to normal faulting tectonic regime and controllable hydraulic boundary conditions. Hydrothermal alteration fracture fillings offer favourable condition for hydromechanic interaction.

Based on the EGS reference site of Soultz, four criteria have been applied to existing URLs in the crystalline basement worldwide and mines in the Black Forest- Odenwald crystalline complex. Two existing URLs partly fulfil the requirements and may be used for additional experiments. Due to favourable geological, hydraulic and stress conditions, site assessments have been carried out in the southern Black Forest and Odenwald (Germany). New remote sensing, hydrochemical and geophysical analyses, reactivation potential and stress modelling have been added to existing geological and hydrogeological information. The reactivation potential reveals two local maxima prone for shear reactivation as strike-slip faults. Local, partly water-bearing fractures at the Wilhelminenstollen were detected and connected to veins in the tunnel using shallow geophysical methods, when partly filled with ore minerals. The results point to a crystalline basement with a fracture network being regionally connected and water-conducting. Hydraulic conductivity in the southern Black Forest granite is estimated to about  $4.5 \text{ E-}8 \text{ m/s}$  at 500 m depth. Hydraulic boundary condition exclude unknown drainage. Clay minerals occur in fractures and the matrix. Dominant fracture density and highest reactivation potential is observed for N110°E trending structures. Generic analyses of the influence of topography on the orientation and magnitude of the maximum stress indicated a minimum overburden of about 200-500 m for regional reactivation to be valid.

## GT-07

### **Necessity and perspectives of large-scale research infrastructures in geothermal energy**

**T. Kohl<sup>1</sup>, E. Schill<sup>2,3</sup>, F. Schilling<sup>4</sup>, F. Wenzel<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Karlsruhe Institute of Technology - Applied Geosciences, Karlsruhe, <sup>2</sup>Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Nukleare Entsorgung, Eggenstein-Leopoldshafen, <sup>3</sup>Technische Universität Darmstadt, Institut für Angewandte Geowissenschaften, Darmstadt, <sup>4</sup>Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Angewandte Geowissenschaften, Karlsruhe

Geothermal energy as nearly emission free energy source that provides security of supply for electricity and heat opens a major perspective for the energy transition. In Central Europe, the largest geothermal potential resides in the fractured crystalline basement rock. To better harvest this energy under sustainable, predictable and efficient conditions, new focused, scientific-driven strategies are needed. Similar to other geo-technologies, the processes for environmental sustainability need to be investigated in large-scale facilities. The proposed GeoLaB (Geothermal Laboratory in the Crystalline Basement) will address the fundamental challenges of reservoir technology and borehole safety. The specific objectives are 1) to perform controlled high flow rate experiments, CHFE, in fractured rock, 2) to integrate multi-disciplinary research to solve key questions related to flow regime under high flow rates, or to higher efficiency in reservoir engineering, 3) risk mitigation by developing and calibrating smart stimulation technologies without creating seismic

hazard, and 4) to develop save and efficient borehole installations using innovative monitoring concepts. Planned experiments will significantly contribute to our understanding of processes associated with increased flow rates in crystalline rock. As an interdisciplinary and international research platform, GeoLaB will be open to universities, industrial partners, and professional organizations to foster synergies and technological and scientific innovations.

GeoLaB is designed as a generic underground research laboratory in the crystalline rock adjacent to the Upper Rhine Graben. At the selected site, an about two km long gallery will be excavated, tapping individual caverns, from which controlled, high flow rate experiments will be conducted at depths of about 400 m. The experiments will be continuously monitored from multiple wells. This will create a unique 4D-benchmark thermal, hydraulic, chemical and mechanical dataset.

With its worldwide unique geothermal laboratory setting, GeoLaB allows for cutting-edge research, associating fundamental to applied research for reservoir technology and borehole safety, bridging laboratory to field scale experiments and connecting renewable energy research to social perception. GeoLaB comprises a novel approach that will shape research in earth science for the next generations of students and scientists.

## **GT Geothermie/Radiometrie B1 – Poster B**

### **GT-P-01**

#### **Geomechanical interpretation of borehole imaging logs and correlation to geophysical logs and seismic attributes**

**A.-I. Symanek<sup>1</sup>, M. Alber<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ruhr-Universität Bochum, Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik, Bochum, <sup>2</sup>Ruhr Universität Bochum, Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik, Bochum

Due to the new energy revolution given by politics and society geothermal energy production as an alternative to wind and solar energy is high-profile. In Germany the Upper Jurassic (Malm) aquifer beneath the Molasse Basin is predestinated for hydro-geothermal energy. The prospecting risk of such a geothermal project is strongly influenced by the effective porosity and permeability of the target area. The research project PrognosPermae aims to develop a workflow to decrease the risk for future hydro-geothermal projects in the Bavarian Malm. Therefore, different geoscientific disciplines such as geomechanical parameters resulting from laboratory testing, geophysical borehole data and seismic attributes will be combined.

For the geothermal project three wells, one of them a side-track, have been drilled close to the East-Bavarian city of Kirchweidach to a depth of around 3,800m TVD (True Vertical Depth). The cuttings as well as geophysical borehole and seismic data from this project are available.

In this work we focus on the geophysical borehole data, seismic data and derived seismic attributes. Borehole imaging logs are widely used for the interpretation of geological structures along borehole paths. Especially the fracture network of the rock formation is important for the success of hydrogeothermal energy production. Within the research

project PrognosPermae, imaging logs of two wells, targeting the Malm aquifer, are interpreted. Particularly the statistical distribution of joint spacing, RQD and volumetric joint count were correlated with further geophysical logs, like sonic p-wave velocity measurements. The results give some indication of the permeability of rock mass. Furthermore, a correlation of imager log derived data with 3D seismic attributes along the well path will be performed.

This work aims to derive an empirical relation of the joint network and geophysical data for the facies of the Malm. At the end this project will considerably improve the exploitation of geothermal targets.

## **GT-P-02**

### **PERMEA - Mechanische und hydraulische Entwicklung von Bruchzonen – Diskrete Elemente Modellierung und Durchströmungsversuche an geklüfteten Reservoiren**

*H. Deckert, L. Krieger, S. Abe, K. Sell*

igem - Institut für geothermisches Ressourcenmanagement, Mainz

Die Gewinnung von Kohlenwasserstoffen und geothermischer Energie sowie die Nutzung des Untergrundes als Speicher wird von den Durchlässigkeiten der vorherrschenden Gesteine beeinflusst. Insbesondere die Einschätzung zu erwartender Kluft- und Störungszonenpermeabilitäten ist unerlässlich für die Bewertung geologischer Einheiten und Strukturen hinsichtlich ihrer Reservoir- oder Barriereigenschaften. Hauptziel des Verbundvorhabens PERMEA ist die Entwicklung von Modellen zur verbesserten Vorhersage der Kluftverteilung und der daraus resultierenden aktuellen Permeabilitätseigenschaften im Bereich von Störungszonen auf unterschiedlichen räumlichen Skalen.

Das hier vorgestellte Teilprojekt beschäftigt sich mit der Prognose von Permeabilitäten in bruchdominierten Reservoiren. Hierzu wird die Entwicklung von Zerrüttungszonen durch Diskrete Elemente Modelle in Abhängigkeit von der Groß-geometrie von Störungen und deren Deformationsgeschichte simuliert. Dies schließt die Entwicklung einzelner Klüfte und ihrer geometrischen Eigenschaften ein. In den Modellen werden die Rauigkeiten der Kluftflächen und der Einfluss des lokalen Spannungsfelds auf die Klüfte und deren Öffnungsweite untersucht. Störungszonengeometrien, Kluftmusterverteilungen und Rauigkeiten werden mit Aufschlussanalogen verglichen, die eine entsprechende Deformationsgeschichte aufweisen.

Die aus den numerischen Modellen gewonnenen Ergebnisse werden genutzt, um rechnergestützt Gebirgspermeabilitäten abzuleiten. Zur Verifizierung werden auf Basis der Geometrien der numerischen Modelle physische Analogmodelle sowohl von Einzelklüften als auch von Kluftnetzwerken erstellt. Diese werden anschließend für Durchflusseperimente im Labor zur Bestimmung von Permeabilitätswerten genutzt.

# MA Magnetik/Erdmagnetismus *Vorträge*

## MA-01

### Vermessung der magnetischen Anomalien eines Multikopters für aeromagnetische Kartierungen

**C. Virgil<sup>1</sup>, C. Kulüke<sup>1</sup>, A. Hördt<sup>1</sup>, J. Stoll<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Technische Universität Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik (IGeP), Braunschweig, <sup>2</sup>Mobile Geophysical Technologies, Celle

Bei der magnetischen Kartierung von großen Flächen werden in der Regel bemannte Flugzeuge oder Helikopter eingesetzt. Diese haben den Vorteil, dass große Flächen schnell vermessen werden können, haben aber auch wesentliche Nachteile: die Messungen sind logistik- und kostenintensiv, die räumliche Auflösung aufgrund der hohen Geschwindigkeiten ist gering und die große Flughöhe (i.d.R. > 30m über Grund) verhindert die Detektion kleinerer Objekte.

Auf der anderen Seite steht die Kartierung zu Fuß mit getragenen Magnetometersystemen. Hier hat man eine exzellente räumliche Auflösung und eine hohe Sensitivität, allerdings nur einen sehr geringen Messfortschritt. Außerdem können potenziell gefährliche Flächen (z. B. munitionsbelastete Gebiete) nicht vermessen werden.

Um nun die Vorteile der beiden Methoden zu kombinieren, entwickeln wir ein drohnengestütztes Gradiometersystem bestehend aus zwei dreikomponentigen Fluxgate-Sensoren. Die Sensoren sind 1m unter einem Hexakopter auf einer speziell entwickelten, schwingungsgedämpften Halterung montiert. Der horizontale Abstand (senkrecht zur Flugrichtung) beträgt 50cm.

Eine der wesentlichen Herausforderungen bei der Verwendung von batteriebetriebenen Flugkörper für magnetische Vermessungen ist die Charakterisierung und Reduzierung der magnetischen Anomalien des Trägersystems. Abhängig von der Lage der Drohne zum Hintergrundfeld, von der Last der elektrischen Verbraucher und der relativen Lage der Magnetometer zur Drohne variieren die magnetischen Störungen. Um die verbleibenden Einflüsse auf das Messergebnis korrigieren zu können, muss das Störfeld am Ort der Sensoren sehr genau bekannt sein.

Dazu wurde ein unmagnetischer Versuchsstand aufgebaut, auf dem die Drohne befestigt wird. Die Fluxgate-Sensoren werden mit der Halterung unter der Drohne montiert und in einem Raumwinkelbereich von  $\pm 30^\circ$  geschwenkt. Dabei wird die Lage und Auslenkung der Sensoren relativ zur Drohne durch eine inertielle Messeinheit (IMU), erfasst. Die Motoren der Drohne werden stufenweise von 0 % bis 100 % Leistung geregelt, so dass eine leistungs- und ortsabhängige Kartierung der Störungen möglich ist. Zusätzlich werden vier kleine, dreikomponentige magnetoresistive Sensoren an den Kufen der Drohne montiert um Variationen der Quellen zeitlich und räumlich aufzulösen und auf die Position der Fluxgate-Sensoren übertragen zu können.

## MA-02

### Vektorielle Gradientenmessungen in der Aeromagnetik – Testmessungen mit einem Luftschiff

**C. Kulüke<sup>1</sup>, C. Virgil<sup>1</sup>, A. Hördt<sup>1</sup>, J. Stoll<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>TU Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik (IGEP), Braunschweig, <sup>2</sup>Mobile Geophysical Technologies, Celle

Bei Aeromagnetik-Messungen mit kleinen unbemannten Luftfahrzeugen (UAV) werden bisher hauptsächlich Totalfelddaten ausgewertet. Wir entwickeln eine Sensorhalterung zur Verwendung mit einem Multikopter, mit der vektorielle Gradientenmessungen mit Fluxgate-Magnetometern durchgeführt werden sollen. Diese Halterung verfügt über eine inertielle Messeinheit (IMU), mit der die Bewegungen der Sensoren erfasst werden können. Eine Korrektur dieser Bewegungen ist für die Auswertung der Gradienten der Magnetfeldkomponenten notwendig.

Bei der Verwendung von UAVs für magnetische Vermessungen treten zwei Arten von Störungen auf. Dies sind zum einen magnetische Anomalien durch den Aufbau und die Stromversorgung der Drohne und zum anderen die schnellen Bewegungen der Sensoren im Hintergrundfeld.

Das Ziel der in diesem Beitrag vorgestellten Messungen ist die Analyse der Bewegungscharakteristik der Sensorhalterung und die Auswirkungen auf die gemessenen Magnetfeldvektoren. Hierzu wird eine neuentwickelte Sensorhalterung verwendet, die mit Hilfe von Öldruckdämpfern die Schwingung und Bewegung der Sensoren reduzieren soll. Um die bewegungsinduzierten Anomalien im Magnetfeld von den magnetischen Störungen durch das UAV trennen zu können, wird die Halterung an einem Luftschiff befestigt, das in einer festen Höhe über das Messgebiet gezogen wird.

## MA Magnetik/Erdmagnetismus A3 – Poster A

### MA-P-01

#### - Measuring magnetic susceptibility field and lab data properly- a comparison of different sensors and procedures

**N. Pickartz<sup>1</sup>, S. Dreibrodt<sup>2</sup>, W. Rabbel<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel, <sup>2</sup>Universität zu Kiel, Institut für Ökosystemforschung, Kiel

In the framework of the Collaborative Research Center 1266 the magnetic susceptibility of different natural materials is measured in different archaeological contexts. These data is intended for use in subsurface models of the archaeological structures to improve the quantitative interpretation of magnetic prospection data. Thus, a main attention is put on the quality and reliability of magnetic susceptibility measurements.

In the presented comparison, the Bartington MS2 and MS3 equipment is used with the

following sensors: MS2B (dual frequency sensor, lab), MS2K (25.4 mm diameter surface sensor, field and lab) and MS2H (downhole sensor in 22 mm Auger hole, field). Samples which are examined with the MS2B are oven dried at 30°C, gently grinded, sieved (2 mm mesh sieve) and filled in plastic containers for measurements. With the MS2K the susceptibility is measured in open archaeological trenches or on 50 mm diameter sediment split cores. The MS2H is used in 22 mm diameter soil Auger holes. From the excavation walls, the split cores and the soil sampler laboratory-samples are taken, prepared as described above and measured with the MS2B in the lab. The resulting measurements are compared to examine the reproducibility of the different procedures. Additionally, the influence of different preparation steps, measurement conditions and device adjustments (e.g. measurement time, repetitions) on the repetitious accuracy of the measurements was tested.

## **MA-P-02**

### **Oszillations-Labormagnetometer auf Fluxgate-Basis zur Bestimmung der remanenten Magnetisierung von Gesteinsproben**

*P. O. Kotowski, V. Schmidt*

Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster

Die Bestimmung der remanenten Magnetisierung von Gesteinsproben kann Aufschluss über den Gehalt an ferromagnetischen Mineralen geben. Meist werden zur Messung der Remanenz Spinner-Magnetometer oder SQUID-Magnetometer eingesetzt, welche allerdings hohe Anschaffungskosten haben und aufwändig in Betrieb und Wartung sind. Deswegen entwickelten wir ein deutlich kostengünstigeres Oszillations-Labormagnetometer auf Fluxgate-Basis und testeten dessen Eignung zur Messung von Gesteinsproben. Der Fluxgate Sensor (FL1-100, Stefan Mayer Instruments) wurde in einem Mumetall-Zylinder installiert. Durch horizontale Oszillation einer Probe frontal vor dem Sensor und eine anschließende Analyse der auftretenden Änderung der gemessenen magnetischen Flussdichte kann das Dipolmoment und daraus die Magnetisierung der Probe bestimmt werden. Ein Fluxgate-Sensor besitzt typischerweise ein zu großes Offset ( $< 200$  nT) für eine unmittelbare Messung einer remanenter Magnetisierung, doch bei Betrachtung der resultierenden Flussdichteveränderungen bei Oszillation der Probe kann der Einfluss des Offsets annulliert werden. Um Fehlerquellen identifizieren und zuordnen zu können, wurden Leermessungen ohne Anbringung von Proben durchgeführt und eine einfache stromdurchflossene Leiterschleife vermessen. Das Gerät hat eine Auflösungsgrenze von etwa 1 mA/m, welche allerdings abhängig vom lokalen Rauschen ist.

Für drei kubische Gesteinsproben aus hellem Steinsalz, grauem Steinsalz und Carnallitit wurden Erwerbsskurven der isothermalen remanenten Magnetisierung (IRM) gemessen. Die Proben hatten eine Sättigungsremanenz von ca. 5 mA/m, 38 mA/m bzw. 180 mA/m. Die IRM-Erwerbsskurven wurden verglichen mit Referenzkurven, die an denselben Proben mit zwei verschiedenen SQUID-Magnetometern gemessen wurden. Der Vergleich der IRM-Kurven mit den Referenzkurven zeigt eine Abweichung der Koerzitivfeldstärke der Remanenz von etwa 5% für Carnallitit, von etwa 13% für graues Steinsalz und von etwa 57% für helles Steinsalz. Anzumerken ist, dass auch die Absolutwerte der beiden Referenzmessungen voneinander bei geringen Messwerten stark variieren (bis 60%).

Die Verlaufsform der IRM-Kurven stimmt für alle Proben sehr gut mit den Referenzkurven überein. Somit eignet sich das Magnetometer gut für die Bestimmung von IRM-Kurven an nicht zu schwachmagnetischen Proben. Auch die Bestimmung sehr starker remanenter Magnetisierungen ist möglich.

## **MG Marine Geophysik Vorträge**

### **MG-01**

#### **3D-Modellierung und Inversion von tiefgeschleppter Magnetik über einem Hydrothermalfeld am Südostindischen Rücken**

***U. Barckhausen<sup>1</sup>, B. Schreckenberger<sup>1</sup>, I. Dresse<sup>1,2</sup>, I. Heyde<sup>1</sup>, R. Freitag<sup>1</sup>, K. Schumann<sup>1</sup>***

<sup>1</sup>BGR, Hannover, <sup>2</sup>Technische Hochschule Ingolstadt, Ingolstadt

Mit dem französischen Unterwasserroboter (ROV) Victor konnte die Umgebung eines direkt auf dem Südostindischen Rücken gelegenen Hydrothermalfeldes in hoher Qualität bathymetrisch und magnetisch vermessen werden. Ein 1,3 x 3 km großes Gebiet wurde dafür in konstanter Höhe von 50 m über dem Meeresboden und mit einem Profillinienabstand von 50 m systematisch abgefahren. Die ozeanische Kruste des Untersuchungsgebietes reicht von einem Nullalter an der Spreizungsachse bis zu 50.000 Jahren. Die beobachteten ausgeprägten magnetischen Anomalien haben ihren Ursprung zu einem großen Teil in der Topographie des basaltischen Meeresbodens und können in einer Vorwärtsmodellierung mit Magnetisierungen zwischen 5 und 15 A/m für die jungen Basalte nahe dem Spreizungszentrum abgebildet werden. Abweichungen von diesem ozeanischen Hintergrundmodell sind Anzeichen für verringerte Magnetisierung als Folge von hydrothermalen Vorgängen, die auch räumlich mit beobachteten Austritten von hydrothermalen Wässern am Meeresboden übereinstimmen. Die 3D-Inversion der Daten veranschaulicht die Ausdehnung und Tiefererstreckung der verringerten Magnetisierung bis in etwa 500 m Tiefe unter den Meeresboden.

### **MG-02**

#### **A stratigraphic link between the NE Greenland and Mid-Norwegian continental margins based on reflection seismic and borehole data**

***M. Haas<sup>1</sup>, W. Geissler<sup>2</sup>, F. Bleibinhaus<sup>1</sup>, R. Mattingsdal<sup>3</sup>***

<sup>1</sup>Montanuniversität Leoben, Institute of Applied Geophysics, Leoben, Austria, <sup>2</sup>Alfred Wegener Institute Helmholtz Center for Polar and Marine Research, Bremerhaven,

<sup>3</sup>Norwegian Petroleum Directorate, Stavanger, Norway

During the last decades, the Norwegian-Greenland Sea has been a focus of research. Beside commercial interest in hydrocarbon exploration, the region is important for the understanding of the Cenozoic climate evolution from the opening of the North Atlantic at approximately 55 Ma to the late-Cenozoic glaciations. In 2003, the research vessel “Polarstern” conducted a seismic survey along the NE Greenland shelf and slope during expedition “ARKTIS XIX leg 4a”.



We reprocessed seven seismic profiles from this data set applying multiple suppression, radon transformation and time migration. Furthermore, a seismic net consisting of 13 processed profiles along the Mid-Norwegian margin with a special focus on the Vøring Plateau area reaching into deep sea were provided by the Norwegian Petroleum Directorate (NPD). The NPD profiles served as a link between the deep-sea parts of the NE Greenland and Norwegian margins for a seismo-stratigraphic correlation, based on its reflection characteristics and P-wave velocity distribution from Eocene to Pleistocene times. Borehole data of the Deep Sea Drilling Project (DSDP) and its successor, the Ocean Drilling Program (ODP) supported reflection seismic correlation between the two continental margins via sonic velocities from log measurements (if available) and stratigraphic correlations among borehole data based on previous literature researches, shipboard scientific reports and initial reports. Based on these data sets, an updated Cenozoic stratigraphic model of the NE Greenland continental margin could be derived. The results should ease and encourage selections of drilling spots and offshore seismic data acquisition in future, since both will contribute to a more detailed picture of the Cenozoic strata and the geological evolution of the Norwegian-Greenland Sea.

### **MG-03**

#### **Gravitativer Sedimenttransport entlang des NW-Afrikanischen Kontinentalhanges**

**S. Krastel<sup>1</sup>, W. Li<sup>2</sup>, A. Georgiopoulou<sup>2</sup>, T. Schwenk<sup>3</sup>, M. Urlaub<sup>4</sup>, P. Feldens<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Christian-Albrechts-Universität, Kiel, <sup>2</sup>UCD School of Earth Sciences, Dublin, Irland,

<sup>3</sup>Universität Bremen, Bremen, <sup>4</sup>GEOMAR Helmholtz-Zentrums für Ozeanforschung, Kiel,

<sup>5</sup>Leibniz-Institut für Ostseeforschung, Warnemünde

Der passive NW-Afrikanische Kontinentalhang ist durch zahlreiche gravitative Sediment-Transportprozesse geprägt. Dazu gehören zahlreiche große Rutschungen am offenen Hang und kanalisierte Turbiditströme in Canyons. Die größten Rutschungen zwischen dem südlichen Senegal (ca. 12°N) und dem Agadir Canyon vor Marokko (ca. 31°N) sind von Süden nach Norden die Dakar Rutschung, die Mauritania Rutschung, die Cap Blanc Rutschung, die Sahara Rutschung und die Agadir Rutschung südlich des Agadir Canyons. Alle Rutschungen sind durch komplexe Abrisskanten charakterisiert, die auf ein mehrphasiges Hangversagen entstanden sind. Es werden zwei Arten von Rutschungen beobachtet: spreading und translational sliding. Die Basis der Rutschungen sind parallel zur Stratigraphie angeordnet, was auf weiterverbreitete schwache lagen schließen lässt. Mindestens eine Rutschung (die Sahara Rutschung) hat ein spätes Holozänes Alter, was dem Postulat eines stabilen Hanges zur jetzigen Phase eines relativ stabilen hohen Meeresspiegels widerspricht. Die Gebiete zwischen den großen Rutschungen sind durch zahlreiche Canyons charakterisiert, die effektive Pfade für den hangabwärtigen Transport von Sedimenten in Form von Turbiditströmen darstellen. Dadurch wird verhindert, dass sich dicke Sedimentpakete ablagern, die potentiell instabil sind, und insofern treten in diesen Gebieten keine großen Rutschungen auf. Eine direkte Wechselwirkung zwischen gravitativen Sedimenttransport in Form von Rutschungen am offenen Hang und Turbiditströmen in Canyons tritt nur vereinzelt auf. Die Dakar Rutschung zerstörte den Dakar Canyon, was zu einer Neuordnung der Sedimenttransportmuster in dieser Region

fürte. Die Agadir-Rutschung vor Marokko tritt in ca. 2500 km Wassertiefe in den Agadir Canyon ein. Trotz eines signifikanten Anstiegs des Hanggradienten disintegrierte die Rutschung nicht in einen Turbiditstrom, sondern bewegte sich für mindestens weitere 250 km als Rutschung durch den Canyon.

## **MG-04**

### **Pre-glacial and glacial shelf sequences of Amundsen Sea, West Antarctica, from seismic and seabed drill records**

**K. Gohl<sup>1</sup>, G. Uenzelmann-Neben<sup>1</sup>, R. Larter<sup>2</sup>, J. Klages<sup>1</sup>, C.-D. Hillenbrand<sup>2</sup>, T. Bickert<sup>3</sup>, S. Bohaty<sup>4</sup>, U. Salzmann<sup>5</sup>, T. Frederichs<sup>3</sup>, C. Gebhardt<sup>1</sup>, K. Hochmuth<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, <sup>2</sup>British Antarctic Survey, Cambridge, United Kingdom, <sup>3</sup>MARUM an der Universität Bremen, Bremen, <sup>4</sup>University of Southampton, Southampton, United Kingdom, <sup>5</sup>University of Northumbria, Newcastle upon Tyne, United Kingdom

The sedimentary sequences of the Amundsen Sea Embayment (ASE) shelf contain records that have the potential to reveal the environmental and ice sheet evolution from pre-glacial to glacial times for a very dynamic sector of the West Antarctic Ice Sheet (WAIS). The currently observed massive loss of continental ice in this region may be a precursor to a partial or full collapse of the WAIS. Deciphering paleoclimate and paleo-ice sheet records from the shelf sediments is therefore a major scientific objective for studying processes of past warm times that can be considered as analogues to the present and future WAIS behavior. In previous work, the seismic stratigraphic model of the shelf was based solely on long-distance jump correlation with seismic records from the Ross Sea shelf. New MeBo70 seabed drill cores collected in early 2017 from the ASE shelf contain unconsolidated to highly consolidated sediments spanning time periods from the Holocene to Cretaceous. We are now able to correlate the mapped seismic horizons and units with the physical property and age information from the drill cores to obtain new insight into the sedimentary and paleoenvironmental development of the entire shelf. The drill records and seismo-stratigraphic units of the ASE provide new constraints on the timing of the transition from the pre-glacial terrestrial environment of the Cretaceous–Paleocene to marine transgression thereafter, and the first advances of grounded ice across the shelf.

## **MG Marine Geophysik A1 – Poster A**

### **MG-P-01**

#### **Antalya Bay (Basin) in the Light of Marine Reflexion Seismic Profiles**

**M. Senoz**

DEU-DBTE (IMST), Marine Geology-Geophysics, Izmir, Turkey

Seismic reflection and gravity data show the eastern Mediterranean Sea to be evolving into several basins as a result of differential vertical movements. The Levantine Basin and deeper Herodotus Basin are separated by a buried ridge (horst or faulted geanticline) lying west of Erathosthenes Seamount, which in turn is the more elevated part of a northeast-trending

geoanticline truncated along its eastern flank by a graben. To the east, gravity trends in the Levantine Basin are parallel to the graben. These features and trends are similar to those seen on land in Egypt and the Levant and imply continuity of structure offshore. Combined with other geological and geophysical information the observations suggest that the eastern Mediterranean crust is the marginal extension of the African continental crust. Although the character of the Florence Rise and Anaximander Mountains, the northwards tilting and subsidence of the Antalya and Finike Basins, and the apparent continuation of the Strabo Trench south of the Florence Rise suggest underthrusting of the Turkish plate by Africa, there may be insufficient seismicity. There is no active volcanic arc, and the trench is too poorly developed to confirm active subduction as the sole manifestation of plate convergence. Normal subduction probably ended within the past 5 m, with the disappearance of all oceanic crust between Turkey and Africa. Plate convergence continues with only limited underthrusting of Africa along the Cypriot Arc, but with regional deformation along zones of weakness within a wide (300km) band stretching from the Herodotus Basin to the east along the northern edge of the African and Arabian Plates. Many marine seismic investigations in Eastern Mediterranean also in Antalya Basin help to understand the complex geology, interaction of tectonic effect and sedimentary layers with Messinian evaporites. The morphotectonic framework of Antalya Basin is characterized by the broadly undulating morphology of the M-reflector which shows 100-1500 ms elevation difference between adjacent crests and troughs. Detailed examination of seismic reflection profiles shows that this corrugated morphology is the expression of deeper and much larger fold structures, which delineate a number of internally parallel, broadly northwest-southeast trending anticlines (referred to as late Miocene ridges) and synclines (referred to as Pliocene-Quaternary basins).

## **MG-P-02**

### **Exploration mariner mineralischer Rohstoffe mit Golden Eye – Elektromagnetische Erkundung von submarinen Massivsulfiden in den Deutschen Lizenzgebieten**

***K. Schwalenberg<sup>1</sup>, H. Müller<sup>1</sup>, K. Reeck<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, B1.4 Marine Rohstofferkundung, Hannover, <sup>2</sup>Uni Bremen Campus GmbH, Bremen

Golden Eye ist ein elektromagnetisches Multi-Sensor-Messsystem, das zur Erkundung von Massivsulfidvorkommen in der Tiefsee entwickelt wurde. Submarine Massivsulfide (SMS) entstehen an hydrothermalen Quellen in den oberen Metern des Meeresbodens, und sind an mittelozeanischen Spreizungszonen, Inselbögen oder auch Backarc-Systemen zu finden. Ihr bekanntestes Erscheinungsbild sind sogenannte Schwarze Raucher. SMS-Vorkommen sind oft reich an Basismetallen wie Cu, Zn, Pb, und können auch Edelmetalle wie Au, Ag, W, Se, und Te enthalten - wichtige mineralische Rohstoffe, die in der HighTech-Industrie zwingend gebraucht werden. Aber bieten diese Vorkommen auch die nötige Qualität und räumliche Ausdehnung, um als "Lagerstätte der Zukunft" betrachtet zu werden? Massivsulfidvorkommen zeichnen sich im Allgemeinen durch eine sehr hohe elektrische Leitfähigkeit vom Umgebungsgestein ab. Elektromagnetische Verfahren sind daher die Standardmethode zur Exploration dieser Vorkommen an Land. Zur Exploration in der

Tiefsee müssen jedoch ganz andere sensorische und operationelle Randbedingungen erfüllt werden. Das Golden Eye wurde für diese Aufgabe als kompaktes, aus Glasfaserelementen aufgebautes Multisensor-System entwickelt, und speziell für den Einsatz eines Frequenzbereichs-CSEM Spulensystems mit 3.4m Durchmesser (Universität Bremen) und eines elektrischen Dipol-Dipol-Systems (BGR) ausgelegt. Weitere Komponenten sind ein CTD (conductivity-temperature-depth)-Sensor, ein 3-axiales-Fluxgate Magnetometer, Videokameras, Altimeter, Akustik-Transponder sowie eine Telemetrie-Einheit. Golden Eye ist mit dem Schiff über das opto-elektrische Tiefseekabel verbunden und wird passiv zum Meeresboden gefiert. Messungen werden kleinräumig entlang von Profilen durchgeführt, wobei Golden Eye in geringem Abstand über den Meeresboden geführt und in Abständen von wenigen 10er bis 100er Metern abgesetzt wird.

Im Projekt INDEX führt die BGR in Hannover seit 2011 jährlich Explorationsfahrten zum Auffinden und zur Erkundung submariner Massivsulfidvorkommen in den Deutschen Lizenzgebieten am Zentral- und Südostindischen Rücken durch. Wir zeigen erste Ergebnisse von den ersten Golden Eye Einsätzen von der INDEX 2015 Ausfahrt über den bekannten Sulfidfeldern im Bereich des Edmond-Felds, die deutlich mit Leitfähigkeitsanomalien korrelieren, sowie von der INDEX 2017 Ausfahrt in einem bislang unbekanntem Gebiet.

### **MG-P-03**

#### **3D Schweremodellierung des Spreizungssystems nördlich und südöstlich des Rodriguez Tripelpunktes im Indischen Ozean**

*I. Heyde<sup>1</sup>, C. Girolami<sup>2</sup>, U. Barckhausen<sup>1</sup>, R. Freitag<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Marine Rohstofferkundung, Hannover, <sup>2</sup>Universität Perugia, Perugia, Italien

Hydrothermalfelder im Bereich der mittelozeanischen Rücken können metallreich sein und sind somit als mögliche zukünftige Rohstoffquelle von großer Bedeutung. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie und in Koordination mit der Internationalen Meeresbodenbehörde untersucht die BGR potenziell hoffige Gebiete im Bereich des aktiven Spreizungssystems im Indischen Ozean. Ein Hauptziel des INDEX Projektes ist die Auffindung von vulkanogenen Massivsulfid-Lagerstätten im Bereich inaktiver Hydrothermalfelder. Wichtige Beiträge dazu liefern bathymetrische, magnetische und gravimetrische Daten, die simultan mit dem Schiff in relativ kurzer Zeit an der Meeresoberfläche gemessen werden können. Das Untersuchungsgebiet liegt zwischen 21°S und 28°S und umfasst den südlichen Zentralindischen (CIR) und nördlichen Südostindischen Rücken (SEIR).

In dieser Arbeit wurden die seegravimetrischen und bathymetrischen Daten von sieben Forschungsfahrten einbezogen. Die Übersichtsprofile haben eine mittlere Länge von 60 km, einen Abstand von 7 km und verlaufen senkrecht zur Rückenachse. Die magnetischen Daten zeigen, dass dieser Rückenbereich geologisch sehr jung ist, wobei die älteste Kruste maximal etwa 1 Million Jahre alt ist. Die Schweredaten korrelieren mit der Bathymetrie, geben aber auch Hinweise auf Gebiete erhöhter bzw. erniedrigter Dichte.

Die weitere Interpretation erfolgte durch 3D Vorwärtsmodellierung der Dichte mit dem Programmpaket IGMAS+. Die Schiffsmessungen wurden durch Daten, die aus der Satellitenaltimetrie gewonnen wurden, ergänzt, um das Modellgebiet zu vergrößern. Wir haben zunächst Profile betrachtet, die besondere geologische Strukturen kreuzen (angehobene Gebiete, Hydrothermalfelder und Gebiete mit Hinweisen auf Extensionsprozesse, wie ozeanische Kernkomplexe), um Korrelationen zwischen den Schwereanomalien und der Geologie zu finden. Anschließend wurden 3D Dichtemodelle für beide Rückenbereiche erstellt. Das horizontal geschichtete Startmodell konnte die gemessenen Anomalien nicht erklären. Die Dichte der Kruste und des Mantels mussten im Spreizungsbereich verringert und die Geometrie der Schichtgrenzen variiert werden. Die angepassten Modelle zeigen somit laterale Dichte- und Mächtigkeitsvariationen der ozeanischen Kruste. Er ergeben sich somit Gebiete mit krustaler Verdickung durch magmatische Akkretion und solche krustaler Verdünnung durch verarmte Akkretion und Freilegung ozeanischer Kernkomplexe.

#### **MG-P-04**

#### **Submarine groundwater detection using mobile marine geoelectric and seismic measurements: First results**

***E. Erkul<sup>1</sup>, A. Fediuk<sup>1</sup>, M. Gräber<sup>2</sup>, D. Wilken<sup>1</sup>, T. Wunderlich<sup>1</sup>, J. Scholten<sup>1</sup>, W. Rabbel<sup>1</sup>***

<sup>1</sup>Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität, Kiel, <sup>2</sup>GeoServe - Angewandte Geophysik, Kiel

Submarine groundwater discharge (SGD) is associated with a significant input of dissolved matter into coastal environments, which may result in eutrophication. To fully understand the overall environmental impacts information on the areal extent of SGD is required. Therefore, spatial mapping techniques are needed. In our project we developed a marine mapping concept, which is based on the electric resistivity of interstitial waters in sediments. Electric resistivity is higher for freshwater compared to seawater. Our approach consists in simultaneous electric and acoustic/seismic depth sounding. The acoustic/seismic measurements serve for determining the geological stratigraphy, whereas electrical tomography provides information on the electric resistivity values of the water column and the identified geological strata. The new approach was tested in the Eckernförde Bay. First results show that electric resistivity could be determined reliably from measurements at the sea surface down to 20 m depth below sea level despite the high electric conductivity of the salty seawater. The electric depth penetration is 10 to 15 m at water depths of 10 to 5 m, respectively. The results show considerable lateral variation of electric resistivity in both water column and sediment. Electric resistivity anomalies likely to represent SGD sites were detected at two segments of a 5 km long test profile.

This project was funded by the Cluster of Excellence 80 "The Future Ocean". The "Future Ocean" is funded within the framework of the Excellence Initiative by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) on behalf of the German federal and state governments.

# SM Seismik Vorträge

## SM-1-01

### Coherent wavefield subtraction and its applications

**B. Schwarz**

Department of Earth Sciences, University of Oxford, Oxford, United Kingdom

Geophysical time series data, when recorded at sufficiently small spatial separations, can be very redundant. If wave phenomena are concerned, this local similarity of registrations can be represented by its coherence. In the context of active seismic or ground-penetrating radar (GPR) measurements, as well as when working with local seismological arrays, the wavefield's coherence is routinely exploited in the form of correlation or stacking schemes. In recent years, first seismological arrays have been installed that sample the emerging wavefield on the continent scale in unprecedented density, thereby promising to make the rich framework of coherence analysis also applicable to earthquake data. While generally, stacking schemes work well when undesired portions of the signal are random and uncorrelated, other wavefield components, such as direct waves, ground roll or multiple reflections are not desired but locally coherent and largely interfere with the primary reflections, which are of particular interest in active-source seismology. On the earthquake scale, for practical reasons, transmitted phases are normally favored as back-scattering is typically low in amplitude, often below the detection limit at individual stations.

Although coherent summation can be a means of suppressing randomly distributed noise and enhancing weak signals, it is known to commonly favor the more recognizable, amplitude-strong contributions, which, unintentionally, lets it act as a filter. In addition, stacking likewise is capable of enhancing coherent noise. Turning these limitations into virtues, I suggest a complementary process, in which these particular filter characteristics can be used to suppress coherent noise and to make amplitude-weak contributions more accessible and usable in practice. This is achieved by approximating the undesired coherent wavefields with local directional stacks and then, subsequently, adaptively subtracting them from the input data. With synthetic and field data examples, I demonstrate that the described strategy is capable to uncover, regularize and enhance signatures of faint backscattering that previously could not or only barely be observed. Since the suggested strategy is performed directly in the data domain, with the only requirement of sufficiently dense spatial sampling, the process can largely be automated and the faint background wavefield is preserved both in frequency and phase, making it suitable for waveform-based techniques.

## SM-1-02

### **Untersuchung eines urbanen Erdfallgebiets mittels oberflächennaher aktiver seismischer Tomographie**

**S. Tschache<sup>1</sup>, U. Polom<sup>1</sup>, C. M. Krawczyk<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Hannover, <sup>2</sup>Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, <sup>3</sup>TU Berlin, Institut für Angewandte Geowissenschaften, Berlin

Für die Früherkennung von Erdfällen ist die Bestimmung elastischer Parameter des Untergrunds in allen drei Raumrichtungen erstrebenswert, um instabile Zonen zu identifizieren.

In unmittelbarer Umgebung des Erdfalls Schmalkalden, Thüringen, wird ein Erdfall-Frühwarnsystem betrieben, zu dem auch vier in 50 m Tiefe in Bohrungen installierte 3-Komponenten-Geophone gehören. Der Einsatz dieser Bohrlochgeophone für aktive seismische tomographische Untersuchungen wurde erfolgreich getestet. In einem ersten Experiment wurden die Signale, die während der Messung von 2D Scherwellen-Reflexionsseismik von einem Mikroviibrator angeregt wurden, zusätzlich von den vier Bohrlochgeophonen und einer VSP-Sonde registriert. Mittels Laufzeitanalyse der Ersteinsätze konnten Geschwindigkeitsanomalien detektiert und mit Strukturen in den seismischen Sektionen korreliert werden. Aufgrund der vielversprechenden Ergebnisse wurde das Experiment erweitert, indem an 40 im Erdfallgebiet verteilten Punkten P- und S-Wellen mittels Mikroviibratoren angeregt wurden und die Signale von den vier Bohrlochgeophonen registriert wurden. Aus diesem Datensatz konnten mittels 3D Laufzeittomographie grob diskretisierte Geschwindigkeitsmodelle für P- und S-Wellen bestimmt werden, aus denen  $V_p/V_s$  und das Poisson-Verhältnis berechnet wurden.

Trotz des begrenzten Auflösungsvermögens aufgrund des kleinen Testdatensatzes und nur vier festen Empfängerpositionen hat die Methode das Potenzial aufgezeigt, die räumliche Verteilung elastischer Parameter zu bestimmen. Somit lassen sich Rückschlüsse auf instabile Zonen infolge von Lösungsprozessen im Untergrund ziehen.

## SM-1-03

### **Clustering of seismic attributes to test automatic seismic interpretation - The GeoSegment3D Research Project**

**J. Amtmann<sup>1</sup>, C. Eichkitz<sup>2</sup>, M. Schreilechner<sup>2</sup>, N. Gegenhuber<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Montanuniversität Leoben, Geophysik, Leoben, Austria, <sup>2</sup>Geo5 GmbH, Leoben, Austria

In seismic interpretation, a big amount of data has to be handled to segment the data cube in zones, sectors and faults. In the conventional method, inlines, crosslines and seismic time slices are interpreted to divide the geological zones on seismic reflectors and on seismic discontinuities. This segmentation is mainly guided by seismic attributes, wells and further geological information. The other approach of seismic interpretation is dividing seismic data by available algorithms. One popular method to achieve an automatic segmentation are clustering algorithms. There are several clustering algorithms available in all different

kinds of scientific disciplines. Some are also already used in seismic interpretation. To get an overview of clustering algorithms and to understand the different kinds of algorithms a three-year research project to test and verify the usability of clustering algorithms on 3D seismic data, is done.

Therefore, multiple algorithms are classified in a matrix and a workflow is created to test various algorithms on different synthetic 3D seismic data models. Furthermore, subsequently a test environment is founded to understand algorithms to use them for automatic or semiautomatic interpretation of seismic data.

With aid of the workflow various clustering algorithm were tested on the synthetic data. Different seismic facies models have different solutions and especially in real seismic data it can be different, because data noise has an influence on these algorithms. This is in a first step intended to get a feeling about the different algorithms with different seismic attributes on multiple synthetic models with various different facies. And in a further step 3D seismic data volumes will be tested.

## **SM-1-04**

### **Seismic interpretation of the Quaternary Lienz Basin**

*T. Burschil, D. C. Tanner, H. Buness, G. Gabriel*

Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover

The Lienz Basin (East Tyrol) constitutes one of the deepest Quaternary basins in the Eastern Alps, surrounded by dolomites to the southwest and gneisses to the northeast. It reveals an overdeepened character (Preusser et al., 2010). The sediment succession, at the junction of three major ice streams during Pleistocene glaciation, is the reason why the DOVE project team (Drilling Overdeepened Alpine Valleys) selected this basin for scientific drilling within their ICDP project. As part of the associated DFG-project ‘Multicomponent Seismics in Overdeepened Alpine valleys’, LIAG acquired four P-wave profile and three S-wave profiles in 2016. P-wave profiles are processed using PSDM scheme as yet.

Seismic interpretation exhibits an asymmetric shape of the basin with a maximum depth (base Quaternary) of 600 m. Valley flanks vary in dip from approx. 27 to 41 degrees. In the deepest part, we interpret a chaotic seismic facies as basal till. Above, a zone of low to medium reflectivity with parallel coherent reflections depicts the next facies of sedimentary infill. These layers, which we interpret as basin fines, thin out towards the valley flanks. We explain this varying thickness as compaction of the sediment succession due to Pleistocene ice load. On top of this, a zone of medium to high reflectivity with less coherent, parallel reflections points to a change in sedimentation. A prominent horizon with synclinal shape separates these sediments from a zone of high reflectivity and chaotic reflections that is terminated on top by a horizontal horizon ca 70 m below surface. We interpret the seismic facies of the latter zone as a diamicton of a younger glaciation. At the top, at the seismic resolution limit, a facies of less coherent and medium reflectivity completes the sedimentary infill of the Lienz Basin. A borehole, 60 m deep, has identified this facies as coarse sand and gravels.

In total, we image the shape and infill of the Lienz Basin and interpret five seismic facies.



The compaction of the sediments and the unconformities indicate at least a number of glaciation cycles. An analysis of S-wave seismics and scientific drilling in the DOVE drilling program will follow.

## **SM-2-01**

### **Wind turbines and seismic stations: An open discussion**

***H. Flores Estrella, M. Korn***

Institut für Geophysik und Geologie, Universität Leipzig, Leipzig

In recent years, Germany has increased the number of wind turbines and wind farms to produce clean and safe energy. Unfortunately, this can have a counterproductive effect on the data quality of permanent seismological stations, incrementing the noise level at frequencies between 1 and 20 Hz, which is caused by the operation of wind turbines at distances up to 15 km from a station.

To define this effect, three factors are to be independently evaluated:

- 1) the vibration emissions caused by the wind turbines operation in seismologically relevant frequencies between 1 - 20 Hz;
- 2) the seismic wave propagation features in the subsurface, depending on the geology, the topography and the attenuation;
- 3) the distance-dependent increase in seismic noise level above the naturally existing average noise level.

In order to investigate these effects we recorded continuous seismic noise close and around three wind parks with different geological site conditions. The seismic noise produced by the wind turbine operation appears at certain frequency bands with a clear linear relation between their spectral amplitudes and the wind velocity or rotation velocity of the turbines. Distance-dependent attenuation laws for different subsurface conditions can be found from wave propagation modelling and calibrated with measurements like those presented here.

For specific wind turbine features (MW production, tower height, fundament) it should be possible to define excitation frequencies and excitation amplitudes of seismic noise. Amplitude will additionally scale with wind velocity. With these factors, a prediction of the noise level that will be generated from future wind turbines at specific sites becomes possible. This will help to define protection radius for seismic stations that exist before the construction of new wind turbine that can easily be used by authorities.

## **SM-2-02**

### **Vs30 maps and fundamental periods in Guadalajara, Jalisco, Mexico, obtained from seismic noise analysis**

**H. Flores Estrella<sup>1</sup>, A. Ramírez Gaytan<sup>2</sup>, R. Salido<sup>2</sup>, S. Lazcano<sup>3</sup>, L. Alcantara<sup>4</sup>, M. Korn<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik und Geologie, Universität Leipzig, Leipzig, <sup>2</sup>Guadalajara University, Guadalajara, Mexico, <sup>3</sup>Suelo-Estructura, Guadalajara, Guadalajara, Mexico, <sup>4</sup>Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería, México, Mexico

Guadalajara is the second largest city in Mexico with an estimate of 4.5 million inhabitants. It is located in Middle West Mexico and is the capital city of Jalisco. It is located on the Colima-Jalisco region, where the occurrence of large magnitude subduction earthquakes is well documented. The largest event in this region occurred on the 3rd of June, 1932 with Ms 8.2. Moreover, the north part of the Jalisco block is just 20 km away from Guadalajara City, and even though it causes small to moderate earthquakes, the ground accelerations can be even 8 times bigger as those produced from subduction events. This is why it is important to analyze the seismic response and possible site effects on the urban area of Guadalajara.

We present results of seismic noise analysis from 30 measurement points where we obtained Vs30 values for a geotechnical soil classification, which is in good agreement with the existent geological information. In some of the stations, it was possible to estimate fundamental periods from two information sources:

- 1) from H/V spectral ratios, using strong ground motion records of the Mw 8.0 1995 earthquake, and
- 2) considering the predicted rock depth from the velocity profiles obtained with ReMi and MASW methods.

With these results we generated Vs30 maps as well as isoperiod maps, using and comparing different algorithms. Though our results cover the west part of Guadalajara (which had not been considered in previous studies) it is urgent to consider more measurement campaigns to improve and complete the obtained maps, in order to diminish the possible damages in case of the occurrence of a large magnitude subduction event or even a moderate event from the northern Jalisco block.

## **SM-2-03**

### **Automatic global identification of diffractions and passive events via locally measured wavefront attributes**

**A. Bauer<sup>1</sup>, B. Schwarz<sup>2</sup>, T. Werner<sup>1</sup>, D. Gajewski<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universität Hamburg, Institut für Geophysik, Hamburg, <sup>2</sup>University of Oxford, Department of Earth Sciences, Oxford, United Kingdom

Multi-parameter stacking schemes like the common-reflection-surface (CRS) stack have shown to yield reliable results even for strongly noise-contaminated data. This is particularly useful for low-amplitude events such as diffractions, but also in passive seismic settings. As a by-product to a zero-offset section with a significantly improved signal-to-noise ratio, the

CRS stack also extracts a set of physically meaningful wavefront attributes from the seismic data, which are a powerful tool for further data analysis. These wavefront attributes describe the properties of two conceptual wavefronts emerging at the surface. Whereas these wavefronts are hypothetical in the reflection case, for diffractions and passive seismic events the wavefront attributes describe the actually measured wavefront. Although the attributes are extracted locally from the raw data and vary laterally along the events, an analysis of their local similarity allows the global identification of measurements, which stem from the same diffractor or passive source, i.e., from the same location in the subsurface. In this work, we present a fully automatic scheme to globally identify and tag diffractions in simple and complex data by means of local attribute similarity. Due to the fact that wave propagation is a smooth process and due to the assumption of only local attribute similarity, this approach is not restricted to settings with moderate subsurface heterogeneity. We outline different applications of the gained knowledge, such as using it as a focusing constraint for wavefront tomography and for uncertainty analysis of velocity and localization.

## **SM-2-04**

### **Slowness vs. velocity perturbations in refraction seismic tomography**

#### ***B. Trabi***

Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Angewandte Geophysik, Montanuniversität Leoben, Leoben, Austria

A common problem in seismic tomography is to assess and quantify data uncertainties. The Bayesian approach to inverse problem by means of Markov Chain Monte Carlo (McMC) method samples relevant parts of the model space and provides an quantitative overview of the uncertainty of all model parameters. This method is very computing power intense and one important issue is to optimize the efficiency of the method. In this study, we investigate the difference between velocity-based and slowness-based McMC in refraction tomography. Whereas velocity in surface wave phase velocity inversions typically varies no more than by a factor of two, variations in refraction tomography can amount to a factor of ten, and the difference between slowness and velocity perturbations becomes more relevant. Because slowness is proportional to travel time, model perturbations need no arbitrary scaling relations. In our experiments, the associated perturbations are more uniform and show better mixing properties compared to velocity based McMC. We also investigate multivariate perturbations based on a projection of a single perturbation through the resolution matrix. Our tests show that these lead to higher acceptance ratios and/or greater step length.

## SM-2-05

### Seismic imaging of the Alpine Fault at the DFDP-2 drill site in Whataroa, New Zealand

*V. Lay<sup>1</sup>, S. Buske<sup>1</sup>, S. B. Bodenbarg<sup>1</sup>, J. Townend<sup>2</sup>, R. Kellett<sup>3</sup>, M. Savage<sup>2</sup>, D. R. Schmitt<sup>4</sup>, A. Constantinou<sup>5</sup>, J. Eccles<sup>6</sup>, D. Lawton<sup>7</sup>, K. Hall<sup>7</sup>, M. Bertram<sup>7</sup>, A. Gorman<sup>8</sup>*

<sup>1</sup>Institut für Geophysik und Geoinformatik, TU Bergakademie, Freiberg, <sup>2</sup>Victoria University Wellington, Wellington, New Zealand, <sup>3</sup>GNS Science, Lower Hutt, New Zealand, <sup>4</sup>University of Alberta, Edmonton, Canada, <sup>5</sup>Schlumberger, London, United Kingdom, <sup>6</sup>University of Auckland, Auckland, New Zealand, <sup>7</sup>University of Calgary, Calgary, Canada, <sup>8</sup>University of Otago, Dunedin, New Zealand

The Alpine Fault in New Zealand is an 850 km long continental fault zone that is late in its earthquake cycle. The Deep Fault Drilling Project (DFDP) aims to deliver insight into the geological structure of this fault zone and its evolution by drilling and sampling the Alpine Fault at depth. To link geological results from the drilling with the local fault zone structures at the Whataroa river, the interpretation of the presented 2D and 3D reflection seismic data is necessary.

The 2D seismic reflection data image the main Alpine Fault reflector at a depth of 1.5-2.2 km with a dip of approximately 48° to the southeast below the DFDP-2 borehole.

Additionally, there are indicators of a more complex 3D fault structure with several fault branches that cannot sufficiently be understood by 2D data.

Consequently, we conducted a 3D VSP survey including surface receivers to study seismic reflections from the main Alpine Fault zone over a broad depth range. Within the borehole, a permanently installed “Distributed Acoustic Fibre Optic Cable” and a three-component borehole tool were used to record the seismic wavefield. In addition, a total of 1916 different receiver locations recorded 71 source locations at the surface. Single reflection events are identified on both inline and crossline profiles so that the origin of reflections can be identified. Hence, the 3D character is revealed and can be analyzed in detail. There is strong evidence for reflections coming from the side, presumably from the steeply dipping flanks of the Whataroa valley. The data are further analyzed using advanced seismic imaging methods to derive a detailed structural image of the Alpine fault zone at depth.

Furthermore, a detailed 3D velocity model was derived from both data sets by first arrival tomographic inversion. Subsets of the whole data set were analysed separately to estimate the corresponding ray coverage and the reliability of the observed features in the obtained velocity model. After testing various inversion parameters and starting models, the final detailed near surface velocity model reveals the significance of the old glacial valley structures.

Overall, the seismic results correlate with previous crustal-scale studies and recent findings from the drilling. Thus, the results provide a basis for a seismic site characterization at the DFDP-2 drill site, which will be crucial to understand the structural and geological architecture of the Alpine Fault zone in this area.

## **SM-2-06**

### **Wavelet transform-based seismic facies analysis for geothermal exploration in Groß Schönebeck, NE German Basin**

***K. Bauer, A. Ivanova, B. Norden, M. Stiller, C. Krawczyk***

GFZ Potsdam, Potsdam

At the geothermal site near Groß Schönebeck (NE German Basin), a new 3D seismic reflection experiment was carried out in February/March 2017. The location serves as a research platform to test technologies for the geothermal usage of porous and/or fractured sedimentary and volcanic rocks of the Rotliegend formation. Within those target layers, temperatures of around 150 deg C are encountered between 4000 and 4300 m depth. A background geological model was established from existing 2D seismic reflection lines and bore hole information during an early stage of the research project. Over the last 15 years, a broad spectrum of geoscientific studies and a series of geothermal stimulation tests were carried out by use of bore holes GrSk 3/90 and GrSk 4/05. A review of lessons learned so far and problems encountered in the past led to suggestions for new drilling concepts and modified stimulation strategies. The new 3D seismic survey was conducted to deliver detailed knowledge on geological structures and reservoir characteristics which are required for the implementation of the new concept of geothermal exploitation.

We show results of a seismic facies analysis of the 3D seismic data for the proposed Rotliegend reservoir horizons. The analysis is carried out in the time domain where stacked and time-migrated data are considered. Horizons to be analysed are identified by time-depth conversion at bore hole GrSk 3/90 and comparison with litho-stratigraphy. Full waveforms are analysed along horizons by application of a discrete wavelet transform. Alternatively, a set of signal attributes is determined for each signal. The derived signal characteristics form the input information for a cluster analysis which is carried out using the method of self-organizing maps. As a result, the signals observed along the horizons are sub-divided into groups, where each group shows specific signal characteristics. The mapping of the class members reveals signal variations which are interpreted in terms of sedimentological heterogeneity across the horizon. This information can be used to identify reservoir compartments and to design drilling pathways.

## SM Seismik A2 – Poster A

### SM-P-01

#### Seismic exploration of mineral deposits in Northern Finland

**S. Buske<sup>1</sup>, S. Heinonen<sup>2</sup>, E. Kozlovskaya<sup>3</sup>, J. Karjalainen<sup>3</sup>, H. Silvennoinen<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, <sup>2</sup>Geological Survey of Finland, Espoo, Finland, <sup>3</sup>Oulu Mining School, Oulu, Finland, <sup>4</sup>University of Oulu, Sodankylä geophysical observatory, Oulu, Finland

Within the project XSoDEx (eXperiment of SOdankylä Deep Exploration) the Geological Survey of Finland (GTK), Technische Universität Bergakademie Freiberg (TUBAF), Oulu Mining School (OMS) and Sodankylä Geophysical observatory (SGO) are working together to study bedrock structures in the Sodankylä area (Northern Finland). The aims of the project are to study the structural and lithological framework at depth possibly showing linkage of the two major mineral deposits of the area and to achieve a better understanding of the mineral system.

A total of approximately 80 km seismic reflection and refraction data were acquired during July and August 2017 using mostly the Vibroseis source of TUBAF. The seismic reflection data were recorded in a roll-along scheme by a 3.6 km long spread with 10 m geophone spacing and 20-40 m source point spacing. The seismic refraction data were simultaneously recorded by 60 vertical- and 40 three-component receivers along an extended line around the reflection spread with maximum offsets of around 5-6 km.

The processing of these data sets is currently ongoing employing different seismic imaging and inversion techniques. The seismic reflection data will be used to map crustal structures down to approximately 3 km depth, while the seismic refraction data provide information about velocity structures of the subsurface as well as constraints to the seismic reflection data processing. In addition, petrophysical measurements are conducted from samples collected in the vicinity of the seismic profiles, which will deliver densities and seismic P-wave velocities to constrain the interpretation of the seismic data. Furthermore, new AMT (Audiomagnetotelluric) and gravity data were acquired along the same profiles in order to gain a better understanding of the deep conductivity structures and to provide a density model of the subsurface.

In summary, the acquisition and analysis of such a multi-parameter data set will enable a accurate and reliable geological interpretation of the subsurface features resulting in a 3D geological model including the major mineral systems in the Sodankylä area.

## **SM-P-02**

### **Seismic imaging in an anisotropic crystalline environment at the COSC-1 borehole, central Sweden**

***H. Simon<sup>1</sup>, S. Buske<sup>1</sup>, F. Krauß<sup>2</sup>, R. Giese<sup>2</sup>, P. Hedin<sup>3</sup>, C. Juhlin<sup>3</sup>***

<sup>1</sup>TU Bergakademie Freiberg, Institute of Geophysics and Geoinformatics, Freiberg,

<sup>2</sup>Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre for Geosciences, Centre

for Scientific Drilling, Potsdam, <sup>3</sup>Uppsala University, Department of Earth Sciences, Uppsala, Sweden

The Scandinavian Caledonides represent a well preserved deeply eroded Palaeozoic orogen, formed by the collision of the two palaeocontinents Baltica and Laurentia. Today, after four hundred million years of erosion along with uplift and extension during the opening of the North Atlantic Ocean, the geological structure in central western Sweden consists of allochthons, underlying autochthonous units, and a shallow west-dipping décollement that separates the two and is associated with Cambrian black shales. The project COSC (Collisional Orogeny in the Scandinavian Caledonides) aims to investigate these structures and their physical conditions with two approximately 2.5 km deep fully cored scientific boreholes in central Sweden. The first borehole COSC-1 was successfully drilled in 2014 and obtained a continuous cored section through the highly deformed Seve Nappe. After drilling was completed, several surface and borehole based seismic experiments were conducted. The data from a multi-azimuthal walkaway VSP in combination with long offset surface lines was used to image the structures in the vicinity of the borehole. Clear differences in vertical and horizontal P-wave velocities made it necessary to also account for anisotropy during velocity modelling. The resulting VTI velocity model provides the basis for subsequent application of seismic imaging approaches, like Kirchhoff pre-stack depth migration. The resulting images were compared to the corresponding migration results based on an isotropic velocity model. Both images are dominated by strong and clear reflections, which appear more continuous and better focused in the anisotropic result. Most of the dominant reflections originate below the bottom of the borehole and therefore are probably situated within the Precambrian basement or at the transition zones between Middle and Lower Allochthons and the basement. They might also represent dolerite intrusions or deformation zones of Caledonian or pre-Caledonian age. Their origin remains enigmatic and might only be clarified by drilling the proposed borehole COSC-2.

## **SM-P-03**

### **High-resolution seismic survey at a planned PIER-ICDP fluid-monitoring site in the Eger Rift zone, Czech Republic**

***H. Simon<sup>1</sup>, S. Buske<sup>1</sup>, T. Fischer<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>TU Bergakademie Freiberg, Institute of Geophysics and Geoinformatics, Freiberg, <sup>2</sup>Charles University Prague, Faculty of Sciences, Prague, Czech Republic

The Eger Rift zone (Czech Republic) is an intra-continental non-volcanic region and is characterized by outstanding geodynamic activities, which result in periodically occurring earthquake swarms and significant CO<sub>2</sub> emanations. The epicentres of the earthquake

swarms cluster at the northern part of the Cheb Basin. Although the location of the cluster coincides with the major Mariánské-Lázně Fault Zone (MLFZ) the strike of the focal plane indicates another fault zone, the N-S trending Počátky-Plesná Fault Zone (PPFZ). Isotopic analysis of the CO<sub>2</sub>-rich fluids revealed a significant portion of upper mantle derived components, hence a magmatic fluid source in the upper mantle was postulated. Because of these phenomena, the Eger Rift area is a unique site for interdisciplinary drilling programs to study the fluid-earthquake interaction. The ICDP project PIER (Drilling the Eger Rift: Magmatic fluids driving the earthquake swarms and the deep biosphere) will set up an observatory consisting of five shallow monitoring boreholes. In preparation for the drilling, the seismic survey aims at the characterization of the projected fluid-monitoring drill site at the CO<sub>2</sub> degassing mofette field near Hartoušov. In October 2017, a 6 km long profile with dense source and receiver spacing was accomplished. The W-E trending profile crosses the proposed drill site and the surface traces of the MLFZ and the PPFZ. Up to 1200 Vibroseis shots were recorded with 312 single-component geophones deployed in two spreads along the profile. First arrival traveltimes tomography and pre-stack depth migration methods will be applied to the data in order to derive a detailed near-surface velocity model as well as to image potential reflectors within the Cheb Basin and the MLFZ and PPFZ. During interpretation of the seismic data, a resistivity model derived from a geoelectrical survey acquired along the same profile line, will provide important constraints, especially with respect to fluid pathways related to the earthquake swarms and CO<sub>2</sub> emanations.

#### **SM-P-04**

#### **Charakterisierung von Erdfallgebieten mit elastischen Parametern und seismischen Attributen**

**S. H. Wadas<sup>1</sup>, S. Tschache<sup>1</sup>, U. Polom<sup>1</sup>, C. M. Krawczyk<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>Leibniz Institut für Angewandte Geophysik, Hannover, <sup>2</sup>GFZ Potsdam, Potsdam, <sup>3</sup>Technische Universität Berlin, Berlin

Die Auslaugung löslicher Gesteine im Untergrund führt zur Bildung von Hohlräumen, Erdfällen, Tagesbrüchen und Senken, welche die Standfestigkeit von Gebäuden und Infrastruktur negativ beeinflussen können. Daher sind Untersuchungen notwendig, um die lokalen Risiken besser einschätzen zu können.

In zwei Subrosionsgebieten wurden 4 reflexionsseismische S<sub>H</sub>-Wellen Profile und 4 Mehrkomponenten-VSP's gemessen und hinsichtlich elastischer Parameter und seismischer Attribute untersucht. Bei den elastischen Parametern lag der Fokus auf dem dynamischen Schermodul ( $G_{\max}$ ) und dem Poisson-Verhältnis ( $\nu$ ), wobei für die Berechnung des Schermodul die Intervallgeschwindigkeit der Scherwelle ( $V_S$ ) und die Dichte benötigt werden und für das Poisson-Verhältnis neben  $V_S$  die Intervallgeschwindigkeit der P-Welle ( $V_P$ ). Die Ergebnisse zeigen geringe  $V_S$  von ca. 120 m/s bis 350 m/s und einen niedrigen  $G_{\max}$  von 25 MPa bis 250 MPa für den Subrosionshorizont und die darüber liegenden Gesteine, welche von dem gestörten und mit Hohlräumen durchzogenen Untergrund herrühren. Da luftgefüllte Hohlräume keine Spannungen übertragen können, ändert sich die Spannungsverteilung im Umgebungsgestein, was zur Ausbildung von Brüchen führt, welche zusammen mit den Hohlräumen zur Erdoberfläche propagieren können. Die



Reduktion der Dichte und die Erhöhung der Porosität resultieren in einer verringerten Scherfestigkeit des Gesteins und führen zur Ausbildung instabiler Zonen. Die VSP's zeigen für  $v$  hohe Werte zwischen 0,38 und 0,48 im Subrosionshorizont und den gestörten Bereichen darüber, was ebenfalls ein Indikator für instabile Zonen ist. In den VSP's korrelieren Bereiche mit  $G_{\max}$ - und  $v$ -Anomalien mit niedrigen elektrischen Widerständen  $< 10 \Omega\text{m}$ , was auf fluidbedingte hohe Leitfähigkeiten schließen lässt.

Eine Wellenkonversion von S zu P, vermutlich bedingt durch einfallende Schichten und orientierte Bruchnetzwerke, wurde ebenfalls beobachtet. Bei der seismischen Attributanalyse der 2D-Profile lag der Fokus auf der Frequenz und der Kohärenz. Die Dämpfung der hohen Frequenzen und insbesondere die abnehmende Kohärenz spiegeln den Grad der subrosions-induzierten Zerrüttung des Untergrundes wieder. Je mehr zerrüttet der Untergrund, desto stärker die Dämpfung und umso geringer ist die Kohärenz.

Es zeigt sich, dass 2D-Scherwellen Seismik geeignet ist um laterale Variationen insbesondere von  $G_{\max}$  zu erfassen und Mehrkomponenten-VSP eine sinnvolle Ergänzung zu anderen geotechnischen Untersuchungsmethoden ist.

## **SM-P-05**

### **Reducing blasting vibrations with phased source arrays – introduction and results of first travel time tomography at Mt. Erzberg mine, Austria**

**C. Tauchner, F. Bleibinhaus, J. Zeiß**

Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Angewandte Geophysik, Leoben, Austria

Quarries and open pit mines face tremendous challenges in areas with dense settlement. Unavoidable side effects of rock blasting like ground vibrations, air blast and flying rocks are subject to many legal restrictions. Thus forcing the mine to operate within the legal limits and not reaching the full economic potential. Current mitigation strategies for ground vibrations include smaller blasting arrays, less explosives and customized delay times. Methods to determine such blasting patterns are either based on trial-and-error, or on very simplified models which neglect site specific factors, such as viscoelastic subsurface properties and topography.

This project focuses on reducing blasting vibrations at sensitive targets with phased source arrays. It is part of the large multidisciplinary EU-funded project, with the aim to increase sustainability of mining, called SLIM. The objective is to introduce a new method which utilizes state-of-the-art seismic techniques of waveform modelling in combination with electronic delay detonators to predict ground vibrations at certain sensitive targets. This will provide a systematic way of adapting geometry and initiation patterns of a blasting round

in order to minimize vibration amplitudes at critical frequencies at targets. Implementing this strategy, pits will be able to improve their mining efficiency without exceeding legal limitations.

The first seismic travelttime tomography experiment at Mt. Erzberg mine in Austria has already taken place. The aim was to collect data for a velocity model which describes the underground reasonably well. Therefore 125 3-component-stations were set up in a 4 km<sup>2</sup> large area, within and around the active mine. During the 3 weeks of experiment installment

21 smaller seismic shots as well as 10 production blasts were recorded. The velocity model from this data which also includes topography information will be used for interferometric waveform modelling and further calculations for optimal blasting patterns.

## **SM-P-06**

### **Aktive seismische Untersuchungen im Bereich unverdichteter Kippensedimente im ehemaligen Braunkohlebergbau**

**F. Hlousek<sup>1</sup>, S. Buske<sup>1</sup>, W. Kudla<sup>2</sup>, B. Lucke<sup>3</sup>, G. Pratt<sup>4</sup>, T. Roßenzweig<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik und Geoinformatik, TU Bergakademie, Freiberg, <sup>2</sup>Institut für Bergbau und Spezialtiefbau, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, <sup>3</sup>LMBV mbh, Senftenberg,

<sup>4</sup>Department of Earth Sciences, University of Western Ontario, London, Kanada

In den unverdichteten Kippenbereichen der ehemaligen Tagebaue der Lausitz treten häufig spontane Bodenverflüssigungseignisse auf, welche sich an der Erdoberfläche als Senkungen oder Geländeeinbrüche zeigen. Die betroffenen Bereiche dieser Verflüssigungen im Untergrund sind dabei nicht genau bekannt, insbesondere die Tiefenerstreckung und laterale Ausdehnung im Untergrund. Um solche Vorgänge besser verstehen zu können, wurden im Bereich der Innenkippe Schlabendorf Süd aktive seismische Untersuchungen entlang von sieben Profilen durchgeführt. Die Profile kreuzen Bereiche mit natürlichen Geländeeinbrüchen infolge Verflüssigung des Untergrundes. Zusätzlich zu den seismischen Untersuchungen wurden entlang der Profile Ramm- und Drucksondierungen durchgeführt. Ziel der Untersuchungen ist es, sowohl die von Verflüssigungen betroffenen als auch die nicht betroffenen Bereiche seismisch und geotechnisch zu charakterisieren, um somit eine Korrelation der entsprechenden Parameter und eine Vorhersage zur Ausdehnung der von Verflüssigungen betroffenen Kippenbereiche treffen zu können.

Wir zeigen die Ergebnisse einer akustischen Wellenfeldinversion, sowie eine reflexionsseismische Auswertung der seismischen Daten, zusammen mit der geotechnischen Auswertung aus den Ramm- und Drucksondierungen.

## **SM-P-07**

### **Lokalisierung von Impakt-induzierten Signalereignissen mit der Matched Field Processing-Methode**

**N. Lerbs<sup>1</sup>, J. Umlauf<sup>1</sup>, A. Schöpa<sup>2</sup>, M. Dietze<sup>2</sup>, M. Korn<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie, Leipzig, <sup>2</sup>GeoForschungsZentrum Potsdam, Potsdam

Die Matched Field Processing (MFP)-Methode dient der Lokalisierung von seismischen Rauschquellen. Zur Lokalisierung werden synthetische Daten mit Messdaten korreliert. Das Ergebnis der MFP-Methode ist eine 3D-Wahrscheinlichkeitskarte der seismischen Rauschquellenverteilung.

Da die MFP-Methode bisher nur zur Lokalisierung von seismischen Rauschquellen genutzt wurde, wird in dieser Studie getestet, ob die MFP-Methode zur Lokalisierung von kurzzeitigen Signalereignissen genutzt werden kann. Mögliche Anwendungsbeispiele der

MFP-Methode zur Lokalisierung kurzzeitiger Signalereignisse sind Erdoberflächenprozesse, wie beispielsweise Steinschläge oder Küstenabbrüche.

Zur Erzeugung der Signalereignisse wurde im Juni 2017 bei Demmin (Mecklenburg-Vorpommern) in Zusammenarbeit mit dem GeoForschungsZentrum Potsdam ein Experiment durchgeführt, bei dem unterschiedliche Fallkörper (Gewicht: 0.076-110 kg) aus verschiedenen Höhen (0.5-36 m) auf den Boden fallen gelassen wurden. Die beim Impakt des Gesteinskörpers erzeugten seismischen Wellen wurden von einem seismischen Array aufgenommen, das aus 30 zufällig verteilten Stationen bestand.

Das Ziel der Studie ist die Lokalisierung der Impaktereignisse durch die Anwendung der MFP-Methode. Da das Experiment mit kontrollierten Parametern durchgeführt wurde, können die dabei induzierten seismischen Wellen einer bestimmten kinetischen Energie und einem bestimmten Impuls zugewiesen werden. Dadurch können mithilfe der MFP-Methode Impaktereignisse lokalisiert und die MFP-Methode dabei auf kurzzeitige, von Impaktereignissen erzeugte charakteristische Signalereignisse validiert werden. Zudem wird die MFP-Methode auf die Reproduzierbarkeit der Impaktlokalisierung getestet.

Erste Ergebnisse dieser Studie zeigen eine erfolgreiche Lokalisierung der Impaktereignisse für verschiedene Fallkörper. Diese hängt jedoch auch stark von dem Gewicht des Fallkörpers und dessen Fallhöhe, also der kinetischen Energie ab. Der kleinste, erfolgreich lokalisierte Impakt wurde von einem Fallkörper mit einem Gewicht von 2.03 kg aus einer Fallhöhe von 20 m induziert. Die dabei entstandene kinetische Energie des Impakts betrug 400 J.

## SM-P-08

### **A comprehensive seismic data analysis for geothermal reservoir characterization within project DESCRAMBLE**

**L. Schreiter<sup>1</sup>, T. Jusri<sup>1</sup>, C. Seupe<sup>1</sup>, R. Bertani<sup>2</sup>, S. Buske<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik und Geoinformatik, TU Bergakademie, Freiberg, <sup>2</sup>Enel Green Power, Geothermal Center of Excellence, Pisa, Italy

Project DESCRAMBLE (Drilling in dEep SuperCRITICAL AMBient of continentaL Europe) has been started in 2015 with the goal to test novel drilling techniques under supercritical geothermal conditions. To achieve its goal, the project intends to deepen an existing well in the geothermal field in Southern Tuscany to a depth which is suspected of storing fluids in supercritical state and is indicated by the presence of the so-called seismic K-Horizon.

Our studies aim to reveal high-resolution seismic images of the K-Horizon using existing three-dimensional (3D) and two-dimensional (2D) seismic data set from the area. New seismic data were acquired in the form of a Vertical Seismic Profil (VSP), which was complemented by simultaneous recording of the seismic source signal by a surface seismic network covering an area of 6 x 6km around the drill site (Piggy Back Experiment).

We present a workflow for the characterization of the seismic horizons by integration of the different seismic data sets. Our approach is split in three stages: 1. migration velocity model building in order to compensate the effects of strong topography and lateral varying geology, 2. structural interpretation of the so-called K-Horizon and 3. quantitative seismic interpretation and modelling of the K-Horizon.

Velocity model building comprises first arrival travelttime tomography and the incorporation

of several well velocities. We performed an advanced three-dimensional (3D) seismic depth imaging approach using Kirchhoff Prestack Depth Migration (KPSDM) and Fresnel Volume Migration (FVM) techniques. With this approach, our seismic studies have revealed seismic images of the K-Horizon with good quality. Our structural interpretation is a reliable basis for geothermal rock characterization as well as for steering of the first well in the geothermal field to penetrate this K-Horizon.

## **SM-P-09**

### **Identifizierung seismischer Signale durch die Wavelet-Transformation in der Interpretation von Karbonatablagerungen**

*H. von Hartmann, H. Bunes*

Leibniz Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover

Für die Interpretation seismischer Daten ist es oft hilfreich bestimmte Signale zu extrahieren, um deren räumliche Verteilung darzustellen. Hierdurch wird die Geometrie z. B. von Sedimentkörpern sichtbar und die Entwicklung eines Ablagerungsraumes kann besser rekonstruiert werden. Seismische Attribute, die hierfür verwendet werden können, analysieren das Signal typischerweise in einem bestimmten Intervall, meist resultiert aus der dafür benötigten Transformation ein einziger Wert für ein Sample einer Spur. Die Wavelet-Transformation dagegen berechnet das Frequenzspektrum gleitend über Zeitintervalle für jedes einzelne Sample. Die Intervalle werden durch die Länge der analysierenden Wavelets der Transformation bestimmt. Im Gegensatz zur Fourier-Transformation muss das Analyseintervall nicht für jeden Frequenzwert angepasst werden. Die Spektren der

Wavelet-Transformation werden verwendet, um typische Signalmuster aus dem seismischen Datensatz zu extrahieren. Angewendet wird dieses Verfahren, um seismische Muster in einer Karbonatplattform erkennen zu können. Die Reflektivität, bzw. die Ablagerungen in einer solchen Plattform sind sehr heterogen, so dass dieses Verfahren hier besondere Vorteile erwarten lässt. Das Verfahren wird anhand eines 3D-Surveys in der oberjurassischen Karbonatplattform in Süd-deutsch-land gezeigt. Diese Plattform dient als bedeutendes geothermisches Reservoir, das Verfahren unterstützt die Interpretation unterschiedlicher Faziesbereiche im Rahmen der Exploration.

## **SM-P-10**

### **Ableitung des $v_p/v_s$ -Verhältnisses aus VSP- und VSSP-Messungen**

*B. Wawerzinek, H. Bunes*

Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Hannover

Die Kenntnis über die Verteilung von Scherwellengeschwindigkeiten in oberflächennahen, sedimentären Schichten ist z.B. beim Auftreten von induzierter Seismizität von großer Bedeutung. So wird die Lokalisierung von induzierten Ereignissen, vor allem der Herdtiefe, stark vom Geschwindigkeitsverhältnis von Kompressions- (P) zu Scherwellen (S) beeinflusst. Zur Geschwindigkeitsbestimmung kommen meist Sonic-log oder VSP-Messungen zum Einsatz. Allerdings werden Sonic-log Messungen meist nur abschnittsweise in den für die Exploration interessanten Teufen durchgeführt, während

bei VSP-Messungen meist nur Vertikalquellen verwendet werden. Durch die Registrierung mit 3-Komponentengeophonen besteht bei VSP-Messungen mit Vertikalquellen auch die Möglichkeit an bzw. in der Nähe der Quelle erzeugte Scherwellen zu analysieren. Bei VSSP-Messungen (vertikales seismisches S-Wellen Profil) werden Scherwellen direkt angeregt, z.B. mit hydraulischen oder elektrodynamischen Vibratorsystemen.

VSP-Registrierungen aus Bohrungen in der süddeutschen Molasse und dem Oberrheingraben wurden auf Scherwellen untersucht, mit dem Ziel Geschwindigkeitsverhältnisse ( $v_p/v_s$ ) für die sedimentären Schichten abzuleiten. Dazu wurden die Horizontalkomponenten in Richtung der maximalen Energie auf einer Horizontalkomponente rotiert, P- und S-Wellen Ersteinsätze bestimmt, Intervallgeschwindigkeiten ermittelt und  $v_p/v_s$  abgeleitet. In den VSP-Registrierungen aus der süddeutschen Molasse kann am Übergang zur Karbonatplattform die Aufspaltung der P-Welle in eine reflektierte P- und eine konvertierte S-Welle beobachtet werden. Die VS(S)P-Untersuchungen beider Regionen zeigen, dass die  $v_p/v_s$ -Verhältnisse mit zunehmender Tiefe abnehmen, wobei im Oberrheingraben oberflächennah höhere Werte beobachtet werden. Gemittelt über die jeweilige Messung liegen in der süddeutschen Molasse die  $v_p/v_s$ -Verhältnisse bei 1.9-2.1, während im Oberrheingraben das mittlere  $v_p/v_s$ -Verhältnis 2.5 beträgt.

## **SM-P-11**

### **3D-seismische Untersuchungen am Geothermie-Standort Groß Schönebeck/Schorfheide**

*M. Stiller, K. Bauer, B. Norden, A. Ivanova, C. Krawczyk, E. Huenges*

Deutsches GeoForschungsZentrum, Potsdam

Im Umfeld der Geothermie-Forschungsplattform Groß Schönebeck des Deutschen GeoForschungsZentrums Potsdam (GFZ) wurden im Februar/März 2017 hochauflösende 3D-reflexionsseismische Messungen, begleitet von VSP-Messungen in 2 existierenden Forschungstiefbohrungen, durchgeführt.

Das Messgebiet liegt im Biosphärenreservat Schorfheide, ca. 50 km NNO von Berlin, am südlichen Rand des Norddeutschen Beckens. Der Standort dient als Referenz zur Entwicklung geothermischer Technologien. Die seismischen Untersuchungen liefern eine genauere Abbildung der Zielregion einer weiteren Erschließung.

Modellrechnungen zur Planung einer optimalen Messkonfiguration ergaben theoretische Linienabstände von 400 m für die Empfangs- und 700 m für die Quellpositionen. Als Punktabstand auf den Linien wurde für Quellen und Empfänger jeweils 50 m gewählt, um einerseits räumliches Aliasing bei den vorhandenen Schichtneigungen zu vermeiden und andererseits eine ausreichende vertikale und horizontale Auflösung nach der Migration zu gewährleisten. Der die Messungen durchführende seismische Kontraktor war die DMT GmbH & Co. KG, Essen.

Alle theoretischen Quell- und Empfängerpunkte konnten mit nur moderaten Verlegungen und kaum Ausfällen in die Realität umgesetzt werden. Als seismische Quelle dienten 4 simultan anregende Vibratoren mit einer Peak-Force von je 200 kN, die nach umfangreichen StartUp-Tests an jeder Quellposition 8 Sweeps (12 s lang im Frequenzband

12 - 96 Hz) in den Untergrund abstrahlten. Das Messprogramm von insgesamt 1832 Quellpositionen und 3240 Empfangspositionen wurde an 17 Messtagen abgearbeitet. Das anschließende 3D-seismische Erstprozessing wurde ebenfalls kontraktorseitig (DMT Petrologic, Hannover) bereitgestellt. Die resultierenden Datenvolumina zeigen eine außerordentlich hohe Datenqualität in Form räumlich gut verfolgbarer, reflektierender Schichtgrenzen im Untergrund (auch subsalar).

Im Rahmen der seismischen Interpretation werden am GFZ diese nun den geologischen Formationen zugeordnet, auf Störungssysteme untersucht und in ihrer 3D-Struktur räumlich konsistent erfasst. Auch wird an der Verbesserung des seismischen Prozessings insbesondere im Reservoirbereich gearbeitet. Das aufwändigere Verfahren der PreStack-Tiefenmigration soll ein schärferes Abbild des Untergrunds erzeugen, um eine solide Grundlage für die geologische Interpretation und kinematische Modellierung zu ermöglichen und Aussagen zur Nutzung tiefer Erdwärmeressourcen im Norddeutschen Becken zu validieren.

## SO Seismologie Vorträge

### SO1-01

#### **Lokalisierung von geotechnischen Ereignissen mittels Diffraktionssummation**

**F. Hlousek<sup>1</sup>, S. Buske<sup>1</sup>, A. Gessert<sup>2</sup>, B. Lucke<sup>3</sup>, R. Mittag<sup>1</sup>, T. Schicht<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik und Geoinformatik, TU Bergakademie, Freiberg,

<sup>2</sup>K-UTEC AG Salt Technologies, Sondershausen, <sup>3</sup>LMBV mbh, Senftenberg

Geotechnische Ereignisse im Bereich der Innenkippen des ehemaligen Lausitzer Braunkohletagebaus sind eine potentielle und immer wieder auftretende Gefahr. Die auftretenden Rutschungen und Geländeeinbrüche sind in häufig die Folge von Bodenverflüssigungsvorgängen. Diese Ereignisse sind durch einen langsamen zeitlichen Verlauf des seismogenen Herdvorganges und teilweise geringer seismischer Energieabstrahlung gekennzeichnet. Zur Detektion und Lokalisierung solcher Ereignisse wurden in der Lausitz 2013/14 zwei seismische Überwachungssysteme bestehend aus insgesamt 26 Seismometern von der K-UTEC AG Salt Technologies aufgebaut.

Bei den auftretenden seismischen Ereignissen wird in erster Linie Oberflächenwellenenergie in Form von sowohl Love- als auch Rayleighwellen registriert, die bei guter Datenqualität anhand ihrer Polarisierung eindeutig voneinander unterschieden werden können.

Auf Basis der Einsatzzeiten der Oberflächenwellen können diese verwendet werden, um die Herdlage des seismischen Ereignisses zu lokalisieren. Hierzu wird eine charakteristische Funktion (CF) definiert, welche als Zeitreihe mittels Diffraktionssummation räumlich abgebildet wird. Diese Abbildung wird für unterschiedliche potentielle Herdzeiten wiederholt. Am potentiellen Herdort überlagern sich die CF konstruktiv, was zu einem räumlichen und zeitlichen Maximum in der Abbildungsfunktion führt und damit die Lage angibt.

Die für die Abbildung notwendigen Geschwindigkeitsmodelle können aus den

Laufzeitkurven als konstante Werte für diskrete Frequenzbänder und Wellentypen abgeschätzt werden. Alternativ können die benötigten Laufzeiten auch aus einem mittels Noise Interferometrie abgeleiteten Modell berechnet werden.

Zusätzlich können die Richtungen der einfallenden Oberflächenwellen aus der Polarisation bestimmt und dazu verwendet werden, das Abbild der Diffraktionssummation in diese Richtungen zu beschränken und damit die Mehrdeutigkeit der Lösung zu reduzieren. Somit kann auch bereits mit nur zwei Stationen eine grobe Lokalisierung durchgeführt werden.

Die Anwendung dieses Verfahrens für seismische Registrierungen in der Lausitz zeigt oft eine sehr gute Übereinstimmung der berechneten Lokationen und der geotechnisch sichtbaren Schäden an der Geländeoberfläche. Es ist damit sehr gut geeignet, um aus den registrierten Oberflächenwellen die Herdlokation auf diesen Innenkippen verlässlich zu bestimmen.

## **SO1-02**

### **Das neue Hyposat 6**

*J. Schweitzer*

NORSAR, KJELLER, Norwegen

Vor mehr als 20 Jahren wurde die erste Version von HYPOSAT entwickelt, einem Softwarepaket zur Lokalisierung seismischer Ereignisse. Die Software ist frei verfügbar und wird heute an vielen Instituten weltweit verwendet.

HYPOSAT wurde in den letzten Jahrzehnten ständig erweitert und kann heute zur Lokalisierung lokaler, regionaler und teleseismischer Ereignisse angewendet werden.

Als Beobachtungsdaten können Einsatzzeiten, Scheingeschwindigkeiten (Strahlparameter) und Rückazimute verwendet werden. Als theoretische Laufzeitkurven können globale und lokale/regionale Geschwindigkeitsmodelle mit einer Vielzahl von Korrekturen angewendet werden.

Im Laufe des letzten Jahres wurde HYPOSAT generalüberholt, CRUST 5.1 durch das neuere CRUST1.0 ausgetauscht und das mehr als 10 Jahre alte Manual überarbeitet.

Als eine der letzten Erneuerungen wurde die tauspline Software zur Berechnung globaler Geschwindigkeitsmodelle für einige seismische Phasen erweitert und die zugehörigen binären Tabellen in ASCII-files umgewandelt, was die Software mehr unabhängig von der aktuellen Hardware macht.

In diesem Vortrag sollen die prinzipiellen Eigenschaften und Möglichkeiten von des neuen HYPOSAT 6 vorgestellt und einige der neuesten Programmänderungen diskutiert werden.

## **SO1-03**

### **Adapting controlled-source coherence analysis to dense array data in earthquake seismology**

*B. Schwarz, K. Sigloch, T. Nissen-Meyer*

Department of Earth Sciences, University of Oxford, Oxford, United Kingdom

Exploration seismology deals with highly coherent wavefields generated by repeatable

controlled sources and recorded by dense receiver arrays, whose geometry is tailored to backscattered energy normally neglected in earthquake seismology. Owing to these favorable conditions, stacking and coherence analysis are routinely employed to suppress incoherent noise and regularize the data, thereby strongly contributing to the success of subsequent processing steps, including migration for the imaging of backscattering interfaces or waveform tomography for the inversion of velocity structure. Attempts have been made to utilize wavefield coherence on the length scales of passive-source seismology, e.g. for the imaging of transition-zone discontinuities or the core-mantle-boundary using reflected precursors. Results are however often deteriorated due to the sparse station coverage and interference of faint backscattered with transmitted phases. USArray sampled wavefields generated by earthquake sources at an unprecedented density and similar array deployments are ongoing or planned in Alaska, the Alps and Canada. This makes the local coherence of earthquake data an increasingly valuable resource to exploit.

Building on the experience in controlled-source surveys, we aim to extend the well-established concept of beamforming to the richer toolbox that is nowadays used in seismic exploration. We suggest adapted strategies for local data coherence analysis, where summation is performed with operators that extract the local slope and curvature of wavefronts emerging at the receiver array. Besides estimating wavefront properties, we demonstrate that the inherent data summation can also be used to generate virtual station responses at intermediate locations where no actual deployment was performed. Owing to the fact that stacking acts as a directional filter, interfering coherent wave fields can be efficiently separated from each other by means of coherent subtraction. We propose to construct exploration-type trace gathers, systematically investigate the potential to improve the quality and regularity of realistic synthetic earthquake data and present attempts at separating transmitted and backscattered wavefields for the improved imaging of Earth's large-scale discontinuities.

## **SO1-04**

### **The Interaction between Wind Turbines and Seismic Stations – New Results At Locations with Different Ground Conditions**

***T. Zieger, J. Ritter***

Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe

To get a better understanding of the interaction between wind turbines (WTs) and seismic stations, it is necessary to compare seismic measurements at different locations with respect to their subsurface properties or WT-type. Within the ongoing project TremAc, in which we investigate the influence of WTs on buildings and human health, we present WT-induced seismic signals from different locations and their specific properties.

A comparison of long-term seismic recordings at the Fraunhofer-Institute (ICT) Pfinztal near Karlsruhe (SW Germany) before and after the start-up of a new WT will be discussed in details. We detect a significant change in the PSD-spectrum after the installation of the WT with an increasing noise level in the frequency range up to 10 Hz and the excitation of discrete frequency peaks with increasing wind speeds resp. rotation speeds. We would like to bring to attention that undisturbed long-term measurements are necessary for a clear



identification and interpretation of WT-related seismic signals.

Seismic measurements were also conducted at the “Energieberg” in Karlsruhe, which is an approx. 60 m high hill consisting of different layers of domestic waste. Because of this particular composition, the hill is characterized by a low stiffness. This specific structure makes it a special case for WT-induced seismic signals, especially with regard to the seismic attenuation behavior. TremAc is funded by the Federal Republic of Germany, Federal Ministry for Economic Affairs and Energy.

## **SO2-01**

### **A new 3D shear velocity model of the wider Vienna Basin region from ambient noise tomography**

***S. Schippkus<sup>1</sup>, D. Zigone<sup>2</sup>, G. Bokelmann<sup>1</sup>, AlpArray Working Group***

<sup>1</sup>Universität Wien, Institut für Meteorologie und Geophysik, Wien, Austria, <sup>2</sup>Université de Strasbourg, Institut de Physique du Globe de Strasbourg, Strasbourg, France

Accurate velocity models of the Earth are a prime result of seismological study, which are useful on one hand for understanding the tectonic evolution of an area, and on the other hand for improving the evaluation of natural resources, and for better locating seismic events. The Vienna Basin (VB) is generally thought to be an area of low seismicity and low to moderate seismic hazard, but some authors argue that the seismic hazard in the region is underestimated. In this study, we retrieve a shear velocity model of the crust in and around the VB. We use continuous seismic records of 63 broadband stations (47 temporary stations of the temporary AlpArray network (<http://www.alparray.ethz.ch>) and 16 permanent stations, operated by national services) to retrieve inter-station Green’s Functions from ambient noise cross correlations in the period range of 5s - 25s. From these Green’s Functions we measure Rayleigh wave group travel times and invert them to retrieve a 3D shear velocity model of the study area in the top 30km. The resulting model provides previously unachieved resolution in this area, and matches well with the few known crystalline basement depths from boreholes. For depths larger than those reached by boreholes, the new model allows new insight into the complex structure of the VB and surrounding areas, including deep low velocity zones. The new model will also open new possibilities for improving earthquake locations, and for better predicting ground motions associated with potential earthquakes in the area.

## **SO2-02**

### **Microseismicity Analysis in NW Argentina: The El Galpón aftershock sequence**

***M. Zeckra<sup>1</sup>, F. Krüger<sup>1</sup>, G. Aranda<sup>2</sup>, E. Sutti<sup>2</sup>, F. Hongn<sup>2</sup>, A. Arnous<sup>1,3</sup>, M. R. Strecker<sup>1</sup>***

<sup>1</sup>Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Potsdam, <sup>2</sup>CONICET - IBIGEO, Universidad Nacional de Salta, Salta, Argentina, <sup>3</sup>Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina

After a severe Mw 5.8 earthquake on October 17, 2015 in El Galpón in the province of Salta NW Argentina, we installed a local seismological network around the estimated epicenter. The network covered an area characterized by neotectonic faults with unknown recurrence

intervals. The 13 three-component seismic stations worked fully autonomously with the main goal to record data continuously for 15 months. The 2015 earthquake took place in the Andean foreland at about 17km depth. This region constitutes inverted inherited structures uplifting the basement. These ranges are separated by sedimentary basins, which are often faulted as well. These compressional basins and ranges comprise the Santa Barbara System, the broken foreland of the Andes.

The earthquake epicenter was located beneath the Metán basin. Its tectonic fault system was already interpreted from analyses of several seismic lines indicating a 4km deep depocenter (Iaffa et al., 2011a, 2011b, 2013). Furthermore, these authors suggested a multi-stage morphotectonic evolution with thick-skinned basement uplift and thin-skinned deformation in the intermontane basins.

The study area is known for recurrent and historical, destructive earthquakes. Besides the 2015 event, in 1908 and 1826 two earthquakes occurred in northern and southern sectors of the network. All three events correspond to an estimated intensity VII (Mercalli scale). The strongest event in 1692 (magnitude 7 or intensity IX) destroyed the city of Esteco II, located in the center of the Metán basin, and damaged parts of the city of Salta.

With state-of-the-art python packages (e.g. pyrocko, ObsPy), we used a semi-automatic approach to analyze the collected continuous data of our seismological network.

The resulting hypocenter locations consist of 3 different groups: 1.) local crustal earthquakes within the network, 2.) interplate activity, of regional distance in the slab of the Nazca-plate, and 3.) very deep earthquakes at about 600 km depth to the east of the network. Our major interest is the first event class. For some events macroseismic reports are available as ground truth. In addition, seismic lines from reflexion-seismic experiments and small-scale electric profiles underline the nature of tectonic features. Thus, spatial location analyses and magnitude distribution in combination with other geological and geophysical information will help us understand the regional driving processes that determine the level of seismic hazard.

## **SO2-03**

### **Observation of lowermost mantle anisotropy beneath the East European Craton and at the northern edge of the African LLSVP**

***M. Grund, J. Ritter***

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Geophysikalisches Institut, Karlsruhe

In the framework of the international ScanArray initiative we analyze core-refracted shear waves (SKS,SKKS,PKS) to study the anisotropic structure beneath Scandinavia.

During the routine shear wave splitting analysis we observed major discrepancies in splitting parameters for SKS-SKKS pairs of the same event at several permanent and temporary stations. In this context one phase is split and the other exhibits a clear null observation. Since for our data set both phases have very similar raypaths and overlapping Fresnel zones from the transition zone up to shallower areas beneath the receiver, potentially these discrepancies are a signature of lowermost mantle anisotropy. In order to evaluate such a contribution of deep sources of anisotropy in our signals we systematically analyzed

359 well constrained SKS-SKKS pairs in our large data set.

However, due to the partly complex shear wave splitting patterns (variations of fast axis direction, delay time and null observations with backazimuth) at several stations, it is quite difficult to completely separate the different contributions from the overall splitting signal. To tackle this problem we apply a recently published approach which incorporates also the so called splitting intensity. In this way we can demonstrate that our recordings contain at least a small contribution of lowermost mantle anisotropy. Based on our measurements and the propagation paths of the waves, the anisotropic regions are located in around 2700 km depth along the northern edges of the African Large Low Shear Velocity Province (LLSVP) and beneath the East European Craton.

## **SO2-04**

### **Seismic signals from trains: equidistant spectral lines**

***F. Fuchs, G. Bokelmann, AlpArray Working Group***

Universität Wien, Institut für Meteorologie und Geophysik, Wien, Austria

We analyze in detail the seismic vibrations generated by trains, measured at distance from the track with high sensitivity broadband sensors installed for the AlpArray project. The geometrical restrictions of the network resulted in a number of instruments deployed in the vicinity of railway lines. On seismic stations within 1.5 km of a railway, we observe characteristic seismic signals that we can relate to the passage of trains. All train signals share a characteristic feature of sharp equidistant spectral lines in the entire 2–40 Hz frequency range. For a site located 300 m from a busy track, frequency spacing is between 1 and 2 Hz and relates to train speed. The spectrograms of individual trains show acceleration and deceleration phases that match well with the expected driving profile for different types of trains. We discuss possible mechanisms responsible for the strikingly equidistant spectral lines. We search for Doppler effects and compare the observations with theoretically expected values. Based on cepstrum analysis we suggest quasi-static axle load by consecutive bogies as the dominant mechanism behind the 1–2 Hz line spacing. The striking feature of the equidistant spectral lines within the train vibrations renders them seismic sources which may have potential for seismic imaging and attenuation studies.

## **SO3-01**

### **Seismic records for searching fore- and afterslides of gravitational mass movements**

***F. Fuchs<sup>1</sup>, W. Lenhardt<sup>2</sup>, C. Hibert<sup>3</sup>, G. Bokelmann<sup>1</sup>, AlpArray Working Group***

<sup>1</sup>Universität Wien, Institut für Meteorologie und Geophysik, Wien, Austria, <sup>2</sup>Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, Austria, <sup>3</sup>University of Strasbourg, Strasbourg, France

Environmental seismology is an emerging field with strong implications for better understanding and mitigating natural hazards. Continuous real-time records of seismic stations allow the precise detection of rapid gravitational mass movements such as rockfalls and landslides on various scales – from local slope monitoring to regional or global

detection of large-scale events. Especially when compared with classical detection methods for wide-area coverage, such as remote sensing, seismology has the advantage of providing continuous records with precise time stamps. The seismic waves generated by rapid mass movements enable us to study e.g. repeated failures of a slope with a temporal resolution opens up new possibilities: E.g. we can discriminate subsequent events from the same source region, such as potential foreshifts and aftershifts, which might otherwise be registered as just a single failure, or with insufficient timing precision. In this study we analyze seismic records obtained from permanent and temporary seismic networks in the Alps and search for fore- and aftershifts around the catastrophic 2017 Piz Cengalo, Switzerland rockslide and a series of rockfalls in the Glockner Group, Austria that have occurred in October 2017.

### **SO3-02**

#### **Spatio-temporal changes of coda quality factor in the northwestern The Geysers geothermal field and their implications for source parameters estimations.**

**A. Blanke<sup>1</sup>, G. Kwiatek<sup>1</sup>, P. Martínez-Garzón<sup>1</sup>, M. Bohnhoff<sup>1, 2</sup>**

<sup>1</sup>GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, <sup>2</sup>Freie Universität Berlin, Institute of Geological Sciences, Berlin

In this study we use 748 seismic events, recorded at The Geysers geothermal field, California, to estimate the coda quality factor,  $Q_c$ . The induced earthquakes with duration magnitudes from Md 1 to Md 4 have been recorded using the Berkeley-Geysers seismic network, consisting of 31 short-period instruments. The analyzed events located at depths of ~3 km form a tight cluster related to the water injections into the wells Prati-9 and Prati-29. The epicentral distances between cluster and stations range from 0.69 to 15.31 km. To calculate the coda quality factor ( $Q_c$ ) we use the extended single back-scattering model by Phillips and Aki (1986), where the recorded S-wave coda results from scattering of the direct S-wave on numerous uniformly distributed heterogeneities in the earth's crust. Later parts of the S-wave coda (different lapse time) are separated into a sequence of overlapping time windows. For each window, the average Power Spectral Density is calculated and the coda amplitude is extracted at fixed frequencies ranging from 1 to 69 Hz. In the following, the decay of the coda wave with time around a set of frequency bands is analyzed by using the regression analysis, leading to  $Q_c$  estimates and their associated uncertainties for particular frequencies.

Simultaneously, we investigate the sensitivity of  $Q_c$  estimation to different input parameters including lapse time, magnitude, coda length, window width of moving windows, cut-off frequency, taper and seismic sensor components. We confirm that on average our estimates are insensitive to the magnitude, coda length, sensor component, cut-off frequency and taper. Small but no significant variations in  $Q_c$  estimates are observed testing different window widths and lapse times. We identify major variations in our  $Q_c$  estimates while testing different levels of signal-to-noise ratios and slope errors of the regression analysis. The resulting high-quality  $Q_c$  estimates were further tested in the context of their spatio-temporal behavior in the reservoir. Therefore, we investigate the distance and azimuthal dependence of  $Q_c$ , and relate it to the observed reservoir anisotropy and local geothermal features. In addition, we analyze the influence of seasonal changes in the

injection rates

on our Qc estimates. Finally, we compare our coda-Q results with estimated S-wave quality factors from the spectral analysis and discuss them in the context of source parameters uncertainties and the potential bias of their estimation.

### **S03-03**

#### **Local damage and stress field evolution before and after laboratory fault slip**

**G. Kwiatek<sup>1</sup>, B. Orlecka-Sikora<sup>2</sup>, T. Goebel<sup>3</sup>, P. Martínez-Garzón<sup>1</sup>, G. Dresen<sup>1,4</sup>, M. Bohnhoff<sup>1,5</sup>**

<sup>1</sup>GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, <sup>2</sup>Institute of Geophysics, Polish Academy of Sciences, Warszawa, Poland, <sup>3</sup>University of Southern California Santa Cruz, Santa Cruz, United States, <sup>4</sup>University of Potsdam, Institute of Earth and Environmental Sciences, Potsdam, <sup>5</sup>Free University Berlin, Institute of Geological Sciences, Berlin

In this study we investigate details of spatial and temporal evolution of the stress field and damage at a pre-existing fault plane in laboratory stick-slip friction experiments performed on Westerly Granite samples. Specimens were deformed at constant strain rate of  $3 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  and confining pressures of 150 MPa. Here we analyze a series of 6 macroscopic slip events, each associated with intense microseismic activity. The Acoustic Emission (AE) events were recorded using a 16-channel transient recording system. AE mapping allowed monitoring spatiotemporal damage evolution. We analyzed source characteristics (magnitude, seismic moment tensors and focal mechanisms) as well as the statistical properties (b-, c-, d- value) of microseismicity to unravel the micromechanical processes governing nucleation and propagation of slip events. In addition, the calculated AE focal mechanisms were used to derive local stress orientations and stress shape ratio coefficients together with additional parameters quantifying proximity to failure of individual fault patches. The calculated characteristics are used to comprehensively describe the complexity of the spatial and temporal evolution of the stress over the fault plane, properties of the corresponding seismicity evolution before and after the macroscopic slips. The observed fault processes and characteristics are discussed in the context of global strain and stress changes, fault maturation, and earthquake stress drop.

### **S03-04**

#### **Laterally Varying Deep Seismic Anisotropy Around the Black Forest Observatory, Germany**

**Y. Sanz Alonso, M. Grund, J. Ritter**

Karlsruher Institut für Technologie, Geophysikalisches Institut, Karlsruhe

The Black Forest Observatory is built into a deep mine in Southwest Germany. There high precision measurements can be conducted at a very low noise level due to its specific siting and careful handling. Now high-quality seismological broadband waveforms are available for more than 25 years of observation. We use this unique dataset to study seismic shear wave birefringence of the core phases SKS, PKS and SKKS, because it is the best such dataset available in Europe. Due to the long recording period waveforms from 1166 events

were analysed. After a rigorous data selection, 318 phases could be used. As results the splitting parameters  $\phi$  (fast shear wave polarisation direction),  $\Delta t$  (time delay between the fast and slow propagating shear waves) and null measurements (seismic phase was not split) are determined based on single event measurements (53 split results and 227 null measurements) and the simultaneous inversion of multiple waveforms (27 split results and 14 null measurements).

The backazimuthal distribution of the splitting parameters clearly suggests that a laterally uniform anisotropic structure at depth cannot explain the observations. Instead at least two laterally varying structural pattern are required: towards NW, in the South German Triangle, a two-layer model can best explain the backazimuthal distribution of the splitting parameters. The other observational quadrants are dominated by null splits, especially in the SW quadrant. In this direction the steeply propagating core phases cross the deep structure (if there is any) of the southernmost Upper Rhine Graben and/or the Kaiserstuhl volcanic complex. However, the actual cause of the null measurements or the lateral variation is still a matter of debate.

## **SO4-01**

### **Evaluation of a New Seismic Detector: Examples from Micro-Seismicity in the East Eifel Volcanic Field**

*M. Koushesh, J. Ritter*

Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe

The detection of weak micro-seismic events (ML less than 2) in the East Eifel Volcanic Field has become important after the occurrence of the two September 2013 events at a depth of 40-43 km. These were the first detected earthquakes in the mantle under Central Europe and there is yet no model which explains ruptures at ambient temperatures above 1000 °C. To answer the questions about the origin and mechanisms, which cause occurrence of such deep events, in 2014, KIT, GFZ and LGB-RLP installed 13 recording stations including 3 broadband and 10 short-period seismometers around the epicenters of the deep events (Deep Eifel Earthquake Project - Tiefe Eifel Erdbeben) in order to record more such events.

For automatic detection of weak signals we try to develop a new algorithm which takes into account the three components of ground motion (a measure proportional to energy) and its behaviour in the frequency domain. We study the change in ground motion in different frequency bands and with different background noise conditions to determine characteristics related to arriving seismic signals. The detection results are compared to STA/LTA and cross-correlation detectors at quiet sites (high signal-to-noise ratio) and at the noisy sites.

Keywords: Dynamic detection threshold, Automatic Micro-seismic event detector, STA/LTA, Cross-correlation, East Eifel Volcanic Field.

## SO4-02

### **An approach to overcome limitations of traditional magnitude scales using Green's functions**

*T. Dahm<sup>1</sup>, S. Cesca<sup>1</sup>, D. Kühn<sup>2</sup>, S. Maghsoudi<sup>1</sup>, S. Heimann<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Deutsches GeoForschungsZentrum, Potsdam, <sup>2</sup>NORSAR, Kjeller, Norway

Magnitudes are a concept to measure the relative strength of earthquakes under a point source assumption. They are traditionally derived from peak amplitudes of (bandpass filtered) seismograms, normalized by the expected peak amplitudes of a reference source. Methods to estimate magnitudes usually rely on empirical, regional or local attenuation functions, which have ideally been calculated from a large number of earthquake recordings observed over a wide range of distances and azimuths. The strength of this concept is that peak amplitudes can be easily and robustly measured, even for moderate and poor signal-to-noise ratios. On the other hand, magnitude scales suffer from many weaknesses, e.g. including the saturation problem, the limitations given by sensor and instrument response, the oversimplification of attenuation functions excluding source rupture, radiation or station site effects, uncertainty estimation in case of only few observations and the non-compatibility of magnitudes derived from different observatories.

We suggest an approach employing full waveforms from synthetic seismograms to estimate moment magnitudes and their uncertainties from peak amplitudes. On the one hand, the new method does not change the established routines of traditional procedures. On the other hand, it overcomes some of the limitations of saturation and source complexity. The method propagates uncertainties of source and velocity models to magnitudes. Attenuation functions are derived on the fly for each station and source from synthetic seismograms using Green's function databases. Different velocity models can be easily considered. After calibration for a small distance range, attenuation functions can be extrapolated to distances, depths and magnitudes for which no observations exist.

The method is especially useful to handle the challenge of magnitude estimation of small induced earthquakes in regions with little tectonic seismicity, as is often the case for human-induced or triggered earthquakes. We present examples from a mining area in Germany and from gas fields in the Netherlands.

## SO4-03

### **Classifications of acoustic emissions from hydraulic fracturing experiments at the Åspö Hard Rock Laboratory (Sweden): From false event detection to network-based waveform clustering**

*P. Niemi<sup>2</sup>, S. Cesca<sup>1</sup>, J. Á. López Comino<sup>1</sup>, C. Hammer<sup>2</sup>, F. Grigoli<sup>2</sup>, T. Dahm<sup>1</sup>, A. Zang<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, <sup>2</sup>Swiss Seismological Service (SED), ETH Zürich, Zürich, Switzerland

An in-situ, multi-stage hydraulic fracturing (HF) experiment was performed at the Åspö Hard Rock Laboratory (Sweden) at a depth of 410 m to compare hydraulic fracturing growth and induced seismicity under controlled conditions for different fluid-injection schemes (continuous, progressive, pulse injection). Acoustic emission (AE) activity was recorded

with a near field network of 11 piezoelectric sensors installed around a horizontal, 28m long bore hole. The sensor's highest sensitivity is in the frequency range of 1 to 100 kHz, but sampling rates were extended to 1 MHz. We focus on three HF experiments (HF1 - HF3) within the same rock type (Ävrö granodiorite). We use a combination of advanced waveform based techniques to detect and characterize massive high-frequency AE signals. We first apply a signal detection algorithm to the continuous waveforms, using a delay-and-stack approach. Then, an automated signal classification algorithm based on Hidden Markov Models is used to discriminate between AE related to the fracturing process and false detections, such as electronic or production-related noise. The procedure results in a catalog of thousands of AEs. The automated classification was successfully tested against a manual revision of all detections from HF2. The detected and classified events are subsequently located using an automated full waveform algorithm based on the stacking of waveforms and coherence analysis. The hypocenters are spatially clustered in planar regions, resembling the main fracture planes of the according HF experiments. The two conventional, continuous water-injection experiment, HF1 and HF2, show similar patterns, while the fatigue hydraulic fracturing experiment HF3, with a progressive injection scheme shows lower AE activity. We further classify subsets of events based on waveform similarity by calculating network-based cross-correlations. The resulting clusters contain highly correlated as well as highly anti-correlated events. The latter implies the occurrence of opposite mechanisms at similar locations, which we interpret as a reverse process at the end of the injection, accompanying the back flow of injected fluids. It is not clear, yet, whether these mechanisms correspond to inverse shear or tensile motions along new or reactivated induced fractures.

## **SO4-04**

### **Crustal anisotropy in the European Alps inferred from an improved splitting analysis of crustal phases in receiver functions**

***F. Link, G. Rümpker***

Institut für Geowissenschaften, Goethe-Universität, Frankfurt am Main

The fast axes from SKS-splitting measurements in the European Alps show a very simple pattern following the strike of the mountain belt (Kummerow & Kind 2006; Barruol et al. 2011; Bokelmann et al. 2013; Quorbani et al. 2015). That has been interpreted to directly reflect the mantle flow in this region.

However, the convergence of the European and African plates, with the Adriatic plate trapped in between (Platt et al. 1989), may suggest a more complex pattern of mantle flow, possibly disturbed by the subducting slabs (Handy et al. 2010).

To investigate the possibility of a crustal contribution to the anisotropy as obtained from SKS-splitting analyses, we analyze the crustal anisotropy in the alpine region using an improved receiver-function method that accounts for anisotropic properties of the crust.

The H- $\kappa$ -stacking algorithm of Zhu and Kanamori (2000) is a standard tool to infer the thickness of the crust, H, and the average P to S-wave velocity ratio,  $\kappa$ , from receiver functions. An extension of this method to anisotropic media has been proposed by Kaviani



& Rumpker (2015). We modify and extend their approach to simultaneously invert for structural and anisotropic properties of the crust such as the  $H$ ,  $\kappa$ , the fast-axis orientation,  $\phi$ , and the percentage of anisotropy,  $a$ . A possible dip of the crust/mantle boundary can also be taken into account during the inversion.

Furthermore, instead of using the ZRT- or the LQT-coordinates, we rotate the receiver functions into fast/slow-coordinate system. That enables to separate the energy of the fast and slow traveling Ps- and PpPs-phases and stabilizes the inversion. We apply this method to the permanent stations within the region of the AlpArray network resulting in a data set of about 300 stations. The layer dip is taken from tomographic Moho-maps in region showing a strong topography.

We discuss our results in view of the origin of the crustal anisotropy and its possible influence on SKS-splitting measurements.

## **S05-01**

### **Seismo-acoustic signals of the Baumgarten (Austria) gas explosion detected by the AlpArray seismic network**

***F. M. Schneider<sup>1</sup>, F. Fuchs<sup>1</sup>, P. Kolinsky<sup>1</sup>, E. Caffagni<sup>1</sup>, M. Dorninger<sup>1</sup>, S. Serafin<sup>1</sup>, G. Bokelmann<sup>1</sup>, W. G. AlpArray<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>Universität Wien, Institut für Meteorologie und Geophysik, Wien, Austria, <sup>2</sup>Swiss Federal Institute of Technology, Department of Earth Sciences and Swiss Seismological ServiceS, Zurich, Switzerland

On December 12, 2017 a devastating release and combustion of gas occurred at the Baumgarten gas hub, which is a major European distribution hub for natural gas located in Eastern Austria. The incident caused one fatal casualty, left over 20 people injured and led to a temporary increase of natural gas price by more than 80% in several countries in Europe. According to forensic investigations the subsequent failure of two closing lids led to the sudden and consecutive release of highly pressurized natural gas from two gas filtering devices (operated at 35 and 70 bar, respectively) which then got ignited. We detected a signal that is apparently associated to the sudden gas release on more than twenty permanent and temporary broadband seismic stations within a distance of 150 km from the gas hub. The temporary stations are part of the European AlpArray project, which covers the entire Alpine orogen.

The earliest detected signal is most prominent in the 2-4 Hz range at stations in a distance range from 40 to 80 km and travels with an apparent velocity of approximately 350 m/s. We thus infer that it propagates acoustically through the air, while no seismic arrival could be clearly detected. The sudden release of gas above the surface generated acoustic infrasound waves, which then locally coupled into the seismic vault structure and thereby created measurable ground motion. From the acoustic signal, we are able to infer the origin time of the first gas release. In addition, a detailed analysis of the signal characteristics sheds light on the temporal evolution of the accident, which may help the ongoing police investigation of the causes.

For normal weather conditions, infrasound signals are expected to be detected only at larger

distances (>120km), where the stratospheric refracted waves reach the surface. However, several hours before the Baumgarten gas explosion, a cold front had passed the area, which induced multiple temperature inversions at few kilometers in altitude creating an additional waveguide in the troposphere. Based on realistic temperature, pressure and wind speed models from the time of the explosion, provided by the European Centre for Medium-Range Weather Forecast, we simulate the infrasound wave propagation using a 3D acoustic raytracing code, which explain the spatial pattern of our detections.

## SO5-02

### **Saisonale Variationen der sekundären Meeres-Mikroseismik im Ross-Meer**

**M. C. Schmidt-Aursch<sup>1</sup>, W. S. Lee<sup>2</sup>, W. H. Geissler<sup>1</sup>, S. Yun<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, <sup>2</sup>Korea Polar Research Institute, Incheon, Korea, Republik

Seismisches Hintergrundrauschen unterschiedlicher Wellenlängen beeinflusst Seismometer-Aufzeichnungen. Besonders markant ist die sekundäre Meeres-Mikroseismik im Periodenbereich 1-10 Sekunden. Dieses Maximum im Rauschspektrum wurde bisher vor allem an Daten von Landstationen erforscht, obwohl die Quellen im Ozean zu suchen sind. Die rasch steigende Verfügbarkeit und Nutzung von Ozeanboden-Seismometern (OBS) führte zu neuen Erkenntnissen über die Erzeugung der sekundären Meeres-Mikroseismik. Trotzdem ist die Frage offen, welcher Mechanismus den größeren Anteil an der Erzeugung hat, stehende Wellen in der Tiefsee oder Überlagerungen an den Küsten. Aus diesem Grund sind Daten aus den polaren Ozeanen interessant, in denen die winterliche Bedeckung mit Meereis den Wellengang unterdrückt.

Das Koreanische Polarforschungsinstitut (KOPRI) und das Alfred-Wegener-Institut (AWI) führten in der Terra-Nova-Bucht eine Pilotstudie durch, um die lokale Seismizität und das Hintergrundrauschen in dieser Region zu erforschen. Im Januar 2012 wurden mit dem koreanischen Eisbrecher RV Araon vier breitbandige OBS aus dem Deutschen Geräte-Pool für amphibische Seismologie (DEPAS) ausgesetzt. Nach 13 Monaten konnten drei Geräte konnten erfolgreich eingeholt werden, wegen der lokalen Eisbedeckung war das vierte OBS nicht zugänglich. Es wurde ein Jahr später im Januar 2014 geborgen. Alle Stationen zeichneten Daten von guter Qualität auf, wegen einer Fehlfunktion des Datenloggers endete eine Aufzeichnung bereits nach acht Monaten. Das 2014 eingeholte OBS zeichnete mehr als 17 Monate auf, bis die Batterien entladen waren.

In diesem Beitrag stellen wir erste Ergebnisse der Rauschanalyse vor. Es wurden sogenannte "probabilistic power spectral densities" (PPSDs) für die Daten der OBS und nahegelegenen Landstationen berechnet. Die sekundäre Meeres-Mikroseismik zeigt für kürzere Perioden (1-4 s) eine deutliche saisonale Variation. Nur im Südsommer, wenn das Ross-Meer nahezu eisfrei ist, ist in diesem Periodenbereich ein Maximum zu erkennen, bei kompletter Eisbedeckung liegt der Rauschpegel in diesem Periodenbereich deutlich unter dem Rauschen der langwelligeren (4-10 s) Meeres-Mikroseismik. Letztere zeigt keine Variationen mit der Meereis-Bedeckung, sondern wird eher durch Wellenparameter, auch in Gebieten ausserhalb des Ross-Meer, beeinflusst. Die sekundäre Meeres-Mikroseismik

wird demnach durch ein komplexes Zusammenspiel mehrerer Mechanismen und unterschiedlichen Quellregionen erzeugt.

### **SO5-03**

#### **Seismic wave interaction with underground cavities**

**F. M. Schneider<sup>1</sup>, S. Esterhazy<sup>2</sup>, I. Perugia<sup>2</sup>, G. Bokelmann<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universität Wien, Institut für Meteorologie und Geophysik, Wien, Austria, <sup>2</sup>Universität Wien, Fakultät für Mathematik, Wien, Austria

We study the interaction of a seismic wave-field with a spherical acoustic gas-or fluid-filled cavity. The intention of this study is to identify characteristic features in the interaction that may help detecting cavities in the subsurface. This is important for many applications, as in particular the detection of underground nuclear explosions which are to be prohibited by the Comprehensive-Test-Ban-Treaty (CTBT). On-Site Inspections (OSI) should assure possible violations of the CTBT to be convicted if suspicious seismic events that may have been caused by nuclear explosions are detected by the international monitoring system (IMS). One primary structural target for the field team during an OSI is the detection of cavities created by underground nuclear explosions. As one seismological technique *resonance seismometry* is mentioned in the treaty which refers to detection of cavity-resonances but also includes the detection of structural anomalies by other passive seismic techniques.

Therefore we investigate different aspects of wave field interaction as the occurrence of resonances, the influence of the presence of a cavity on the surface-wave dispersion and the appearance of scattered and circumferential waves. For that purpose we performed waveform modeling using an analytical solution as well as numerical forward modeling using the spectral-elements suite *Salvus*. To complement our theoretical investigations, we analyze data from two seismic surveys collected at analogue sites conducted and provided on behalf of the OSI division of the Comprehensive Test Ban Treaty Organization (CTBTO). Through the active seismic experiment above a natural cavern in Felsőpetény (Hungary) the wave-field interaction can be studied directly as it is recorded and illuminated by a co-located shot and receiver array both covering a 300 m x 300 m area on top of a natural cavern. In contrast, during a passive seismic experiment above an active mine in Kylylahti (Finland) 46 seismic stations were recording for one month along two profiles, which enables testing of methods that require continuous data as ambient noise techniques. We present an overview of the state of the art of our analysis and findings.

### **SO5-04**

#### **The Probabilistic Seismic Hazard Assessment of Germany - Considering the Range of Epistemic Uncertainties and Aleatory Variability**

**F. Cotton<sup>1, 2</sup>, G. Grünthal<sup>1</sup>, D. Bindl<sup>1</sup>, C. Bosse<sup>1</sup>, D. Stromeyer<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>GFZ, Potsdam, <sup>2</sup>Uni. Potsdam, Potsdam

The basic seismic load parameters for the upcoming national design regulation for DIN EN 1998-1/NA result from the reassessment of the seismic hazard supported by the

German Institution for Civil Engineering (DIBt). This 2016 version of the national seismic hazard assessment for Germany is based on a comprehensive involvement of all accessible uncertainties in models and parameters and includes the provision of a rational framework for integrating ranges of epistemic uncertainties and aleatory variabilities in a comprehensive and transparent way. The developed seismic hazard model incorporates significant improvements over previous versions. It is based on updated and extended databases, it includes robust methods to evolve sets of models representing epistemic uncertainties, and a selection of the latest generation of ground motion prediction equations. The new earthquake model consists of a logic tree with 4040 end branches and essential innovations employed for a realistic approach. The output specifications were designed according to the user oriented needs as suggested by two review teams supervising the entire project. Seismic load parameters, for rock conditions, are calculated for three hazard levels (10%, 5% and 2% probability of occurrence or exceedance within 50 years) and delivered in the form of uniform hazard spectra, within the spectral period range 0.02 to 3s, and seismic hazard maps for peak ground acceleration, spectral response accelerations and for macroseismic intensities. Results are supplied as the mean, the median and the 84th percentile. A broad analysis of resulting uncertainties of calculated seismic load parameters is included. The stability of the hazard maps with respect to previous versions and the cross-border comparison is emphasized.

## SO Seismologie A3 – Poster A

### SO-P-01

#### **The Project WINSSENT – An Introduction to the Seismological Part**

***T. Zieger, J. Ritter***

Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe

The main goal of the WINSSENT project is the investigation of the dynamic behaviour of wind turbines (WTs) in complex terrain in combination with testing of new technologies and control strategies. WINSSENT is conducted by several German institutes (Universities of Aalen, Esslingen, Karlsruhe (KIT), Munich TU, Stuttgart and Tübingen) and the Center for Solar Energy and Hydrogen Research Baden-Württemberg which coordinates the project. A test area will be deployed on the Swabian Alb (SW Germany), with two WTs and four masts for wind and environmental measurements. In addition to different monitoring concepts, a model chain will be developed to simulate flow conditions from mesoscale to blade flow dynamics.

As part of the WINSSENT project, our focus is on the seismic emissions of WTs with long-term borehole and surface measurements in the vicinity of the WTs. Three shallow boreholes of about 5-10 m depth will be deployed around one WT and equipped with post-hole seismometers (20 s). The seismic waveforms will be available in real-time and analysed by the KIT-GPI. Furthermore, wave field properties around the test site will be evaluated including the influence of the dominant subsurface properties.

Due to long-term analysis of the emitted seismic waves, we will also be able to estimate ongoing changes in the subsurface (e.g. compaction or loosening of the ground) and to check

the stability of the WTs in this way. This is of great interest, especially in the predominant karst region with a cave system. For analysis of small changes of elastic structural subsurface properties we are going to use primarily seismic interferometry techniques using the seismic borehole measurements.

The test site with two research WTs will be a great opportunity for different scientific fields to develop new methods regarding the understanding of WTs and their interaction with the environment. WINSSENT is funded by the Federal Republic of Germany, Federal Ministry for Economic Affairs and Energy as well as by the State of Baden-Württemberg.

## SO-P-02

### Spektrale Eigenschaften des Untergrundes in Süd-Hessen (SEUSH)

*B. Homuth<sup>1</sup>, M. Kracht<sup>1</sup>, L. Krieger<sup>2</sup>, H. Deckert<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, Wiesbaden, <sup>2</sup>Institut für geothermisches Ressourcenmanagement, Bingen

Die Untersuchung der Erdbeben-tätigkeit in Südhessen im Verlauf der vergangenen Jahre hat gezeigt, dass lokale seismische Ereignisse für ähnliche Epizentralentfernungen lokal unterschiedliche Intensitäts- und Schadensmeldungen ergaben. Eine mögliche Erklärung für diese Unterschiede ist das Vorhandensein unverfestigter Sedimentschichten an vereinzelt Stellen bzw. in kleinräumigen Gebieten. Durch diese können lokale Verstärkungen von durch seismische Ereignisse hervorgerufenen Bodenbewegungen auftreten. Da diese Effekte wiederum eine klare Frequenzabhängigkeit aufweisen, sollte geklärt werden, ob solche Verstärkungen auf die eintreffenden seismischen Signale wirken und ob der Frequenzgehalt der so verstärkten Signale auch mit Eigenfrequenzen der Bauungsstrukturen zusammenfällt.

Es sollte untersucht werden, ob die Annahme von vorliegenden verstärkenden Lockersedimenten in drei Untersuchungsgebieten zutreffend sein kann, bzw. ob sich solche Strukturen im Einklang mit bestehenden geologischen Karten identifizieren lassen. Weiterhin sollten mögliche lokale Verstärkungen hinsichtlich ihres jeweils betroffenen Frequenzintervalls untersucht werden. Die Untersuchung der H/V-Spektralverhältnisse kann lokale Verstärkungen durch die Untergrundstruktur als Ursache verschiedener Intensitäten unterstützen bzw. ausschließen. Sie kann weiterhin einen Hinweis darauf geben, inwieweit eine erweiterte Risikoanalyse durch die Kombination mit einer Interpretation geologischer Informationen möglich ist.

Es wurden insgesamt drei Teilgebiete im Odenwald in Südhessen untersucht. In jedem Teilgebiet wurden Daten an ca. 60 Messpunkten erhoben und ausgewertet. Die Ergebnisse der Untersuchungen werden vorgestellt. Es konnten direkte Zusammenhänge zwischen der Struktur des lokalen Untergrundes und den gehäuften Schadensmeldungen im Odenwald festgestellt werden, als auch die spektralen Eigenschaften des Untergrundes auf Konsistenz mit den bestehenden kartierten geologischen Strukturen überprüft werden. Im Allgemeinen hat die vorgenommene Mikrozonierung die kartierten geologischen Strukturen bestätigt. Nur in einzelnen Fällen führte die direkte Interpretation der gemessenen H/V-Spektralverhältnisse zu Widersprüchen zu den geologischen Karten.

## **SO-P-03**

### **Der aktuelle seismische Katalog Hessen (SKHe2017)**

**M. Kracht, B. Homuth**

HLNUG, Wiesbaden

Im Rahmen eines vom Hessischen Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUELV) finanzierten Projektes zu hessischen Gefährdungskarten wurde der seismische Katalog Hessen (SKHe2012) erarbeitet. Für den seismischen Katalog Hessen (SKHe2017), das Nachfolgeprojekt, wurden verschiedene, verfügbare Erdbebenkataloge und Ausarbeitungen zu Grunde gelegt, die auf dem SKHe2012 basieren: Landeserdbebendienst Baden-Württemberg (LED), Landesamt für Geologie und Bergbau (LGB-RLP), Universität Köln (BENS), Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Universität Frankfurt: Wernig (1983), Savoric (1998), die Projekte MonaSeis und SiMoN), Hessischer Erdbebendienst (HED), GeoForschungsZentrum (GFZ), Universität Karlsruhe (KIT), Bauhaus Universität Weimar (Ahorner Katalog), Öko-Institut, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Leydecker Katalog), Geologischer Dienst NRW (GD NRW) sowie Daten des Krefeld Kataloges (eine Sammlung von Beschreibungen historischer Ereignisse).

Für die Herangehensweise zur Erstellung eines seismischen Kataloges für Hessen, wurde im Wesentlichen der Methodik des Schweizer Erdbebenkataloges gefolgt (Fäh et al, 2011). Der Erdbebenkatalog für Deutschland, der die Grundlage für den Hessischen Erdbebenkatalog ist, wurde von Leydecker (2011) veröffentlicht. Das Stichdatum für den Katalog ist der 31.12.2017.

Der seismischen Katalog Hessen (SKHe2017) wird auch in Zukunft fortgeschrieben und ist damit als Zwischenstand zu sehen.

In dem Katalog werden 6 Zeiträume beschrieben. Dabei handelt es sich bei dem Zeitraum 800 bis 1700 um Daten, die aus Chroniken ermittelt wurden. Für den Zeitraum 1701 bis 1900 sind viele der älteren Ereignisse makroseismische Daten. Durch den aufkommenden Zeitungsdruck wurden wesentlich mehr Daten erhoben als in dem Zeitraum vorher. Seit Anfang des 20. Jahrhunderts wurden dann auch Erdbeben instrumentell aufgenommen, was bis 1950 wesentlich verbessert wurde. Das analog-instrumentelle Zeitalter wird hier für den Zeitraum 1951 bis 1975 gesehen. Das digital-instrumentelle Zeitalter wird nochmals in verschiedene Bereiche unterteilt, was den größeren Datenmengen geschuldet ist, in 1976 bis 1995 und 1996 bis 2017.

Für Hessen wurden nur die Ereignisse innerhalb der Koordinaten 7°E – 11°E und 49°N – 52°N betrachtet. Eine 50 km-Umhüllende wurde um Hessen herum gelegt, um auch Erdbeben und die dazugehörenden Bereiche zu betrachten, die Auswirkungen auf Hessen haben.

## **SO-P-04**

### **Die Triggerung der NW-Böhmischen Schwarmbeben durch Porendruckänderungen: eine Diskussion zu den möglichen Ursachen**

***J. Heinicke, C. Alexandrakis, S. Buske***

Institut für Geophysik und Geoinformatik, TU Bergakademie, Freiberg

Die Schwarmbebenaktivität in NW-Böhmen ist in den zurückliegenden Jahrzehnten vorwiegend an eine N-S streichende Bruchzone im Rahmen des Leipzig-Regensburger-Lineamentes gebunden, speziell an die lokal ausgebildete Počátky -Plesná-Zone (PPZ). Das für Europa typisch ausgeprägte NW-SE orientierte Spannungsfeld kann als treibendes geodynamisches Element hier betrachtet werden. Weiterhin liegt diese Schwarmbebenzone im Kreuzungsbereich mit der überregionalen, seismisch inaktiven Mariánské Lázně – Störungszone (MLSZ) mit einer NW-SE Streichrichtung in diesem Bereich. Aus unseren Untersuchungsergebnissen zum Auftreten von hydraulisch induzierten Porendruckimpulsen, welche als ein Auslöser der Schwarmbebenaktivität in Betracht zu ziehen sind (Hydroseismizität), ergab sich außerdem, dass die MLSZ eine wesentliche Bedeutung in der Bewertung der Fluidmigrationspfade hat.

Die bisher diskutierten Triggermechanismen der Schwarmbeben beruhen auf einer Porendruckzunahme im Hypozentrum, hervorgerufen durch Aktivitätsänderungen in den darunter liegenden magmatischen Reservoirs im oberen Mantel. Die dabei zusätzlich aktivierten Fluidaufstiege von CO<sub>2</sub> und Wasser unter erhöhtem Fluidruck bewirken nach dieser Hypothese einen Porendruckanstieg in den seismisch aktiven Krustenbereichen. Die hier vorgestellten 3D-Betrachtungen zur Lage der MLSZ, zur Lage der Hypozentren und zu den vermuteten Fluidaufstiegs Pfaden geben Anlass zu der Vermutung, dass der bisher diskutierte Einfluss der magmatischen Fluide auf die Triggerung der Schwarmbeben möglicherweise vernachlässigbar klein ist. Eine kritische Auseinandersetzung mit dieser Thematik unter Einbeziehung weiterer Argumente ist notwendig.

## **SO-P-05**

### **Volcano-tectonic and long-period events at Villarrica volcano: derivation of a local magnitude scale**

***A. Seidel, M. Thorwart, F. Eckel, W. Rabbel***

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut f. Geowissenschaften, Kiel,

Villarrica volcano in South Chile is one of the most active volcanoes in South America. In March 2012 a dense network of 75 shortperiod seismometers was installed for 2 weeks on and around the Villarrica volcano. The seismic activity of the volcano consists of long-period events (LP) and volcano-tectonic events (VT).

The VT events could be observed on most of the 50 stations on the volcano. Only the stations on the active cone show poor or no signals from the VT-events due to the noise conditions. Clear P- and S-arrivals could be picked for 36 events. They are located 2 km - 4 km southeast of the crater at depth between 0 km and 5 km below sea level. The maximum amplitude of the ground displacement between 5 and 20 Hz was picked on the vertical component of each station and event, whenever possible. Those were used

together with the hypocentral distances ( $< 25$  km) to derive the local magnitude scale formula  $ML = \log(r) + br + c$  and to determine the geometrical spreading factor  $a$  and attenuation factor  $b$ . The anchor point at 17 km distance was used to determine the normalisation factor  $c$ .

We find a geometrical spreading factor of  $a=1$ , indicating geometrical spreading of body waves. The value of the attenuation factor  $b$  is 0.0556. This is much larger than standard value of  $b$  (eg. IASPEI: 0.00189) for crustal local earthquakes. This can be explained by stronger scattering due to the heterogeneities in the volcanic body and the higher frequency content of the events.

The LP events have no clear onsets and a main frequency at 2 Hz. They could be generally observed on all 50 stations on the volcano. It can be assumed that the source region of the long-period events is in the vicinity of the crater. A power spectral density diagram was calculated for each station and the mean amplitude at a frequency of 2 Hz was determined. A mean amplitude above the average noise level of -120 db is then related to the LP activity. These amplitudes and the distances to the crater were used to determine the geometrical spreading factor  $a$  and attenuation factor  $b$  for the LP events.

## **SO-P-06**

### **Teleseismic shear wave splitting observations across Scandinavia: signatures of multi-layered and laterally varying anisotropy**

***M. Grund, J. Ritter***

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Geophysikalisches Institut, Karlsruhe

We present systematic shear wave splitting results (more than 3000 SKS, SKKS and PKS phases) for around 250 stations that are part of the international ScanArray initiative. Besides the temporary deployments with recording periods of two to four years, data of long-running permanent stations (partly  $> 10$  years) is available for Norway, Sweden and Finland. Especially the latter ones allow us to study shear wave splitting with a good backazimuthal coverage. The corresponding shear wave splitting parameters (fast direction and delay time) in some regions laterally vary from station to station and phase arrivals from South American events often offer clear null observations (that means the phase was not split). Additionally, for southern Norway we observe delay times of up to 2 s and a rotation of the fast axis direction from nearly E-W to NW-SE. Potentially this observation is associated with large scale tectonic deformation in this area in the past. For stations with good backazimuthal data coverage we present typical one- and two-layer models which will give us a first-order overview about possible (more complex) anisotropy models. Finally this study will help to interpret the observations in the context of the present geological and tectonic structures across Scandinavia.



## SO-P-07

### Results of a multidisciplinary monitoring of hydraulic fracturing stimulation in Poland

**S. Cesca<sup>1</sup>, J. Á. López-Comino<sup>1</sup>, J. Jaroslowski<sup>2</sup>, N. Montcoudiol<sup>3</sup>, S. Heimann<sup>1</sup>, T. Dahm<sup>1</sup>, S. Lasocki<sup>2</sup>, A. Gunning<sup>4</sup>, P. Capuano<sup>5</sup>, W. L. Ellsworth<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, <sup>2</sup>Polish Academy of Sciences, Institute of Geophysics, Krakow, Poland, <sup>3</sup>University of Glasgow, Glasgow, United Kingdom, <sup>4</sup>RSKW Ltd, Glasgow, United Kingdom, <sup>5</sup>University of Salerno, Salerno, Italy, <sup>6</sup>Stanford University, Stanford, United States

The induced seismicity response of shale gas exploration and exploitation is assessed for a real-scale hydraulic fracture (HF) experiment in Europe at the Wysin site, Poland. This is the first case in Europe, where an independent, dense, dedicated multidisciplinary monitoring has been set up to monitor local microseismicity and environmental impact of shale gas exploitation. The monitoring system, deployed and operated in the framework of the EU project SHEER, includes seismic, water and air quality monitoring. HF operations were carried out along two horizontal boreholes at a depth of ~4 km, during 10 days each in June and July 2016. We present here the outcomes of the seismological analysis. Shallow artificial seismic noise sources are detected and located close to the wellhead, active during the fracturing stages for periods of 1.5-2 h. These noise transients affect the signal-to-noise ratios at shallow borehole installations closest to the injection well, increasing the magnitude of completeness during day hours by ~0.25. We detect, locate and characterize weak microseismicity, culminating in two events of Mw 1.0 and 0.5, occurring days after the stimulation in the vicinity of the operational well, but at very shallow depths. The simultaneous air monitoring reveals a sharp methane peak ~19 hours after the Mw 0.5 event, while no correlation is found among seismicity and groundwater parameters.

## SO-P-08

### The influence of near-vertical SK(K)S ray path incidence on the backazimuthal variation of shear-wave splitting parameters: A case study in the Pacific Northwest

**E. Löberich<sup>1</sup>, E. Qorban<sup>1, 2</sup>, G. Bokelmann<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>University of Vienna, Department of Meteorology and Geophysics, Vienna, Austria, <sup>2</sup>CTBTO, International Data Center, Vienna, Austria

The occurrence of seismic anisotropy, e.g. the spatial behavior of shear-wave splitting (SWS) parameters ( $\phi$ ,  $\delta t$ ), has been studied widely in various regions. While lattice-preferred orientation (LPO) of upper mantle minerals, such as orthorhombic olivine and orthopyroxene, is known as the main source of SWS in SK(K)S observations, it is still to be determined, to which degree the nature of azimuthal anisotropy is due to frozen-in-deformation in the lithosphere or to recent geodynamic activities in the asthenosphere. In this study, we use the near-vertical SWS approach, introduced by Davis (2003), to address this key problem. A Taylor-series expansion of the angular eigenvector dependence in the Christoffel equation allows analyzing the backazimuthal (baz) variation of  $\phi$  in the

case when the incidence angle of SK(K)S phases is not vertical.  $\varphi$  then has a baz variation of 180° periodicity and a polarity depending on the  $d_l$  parameter, which is related to the foliation orientation. We distinguish between olivine having a vertical b-axis (“b-up”), as may be associated with the Simple Asthenospheric Flow (SAF) model, or c-axis (“c-up”) as may be expected for a Vertical Coherent Deformaton (VCD) in the lithosphere. Applying the Mainprice (1990) code, implemented in MSAT, enables us to compare the baz behavior of  $\varphi$  and  $\delta t$ , obtained from the near-vertical SWS approach, with the results from numerical geodynamic modeling. Based on the SWS dataset of IRIS DMC for North America, mostly from USArray stations but also from other networks (Liu et al., 2014), we explain our procedure to select, group and cluster suitable stations, which leads us to an investigation of the Pacific Northwest region. The  $d_l$  parameters are calculated from the SWS-baz dependence first; to explain polarity changes, we further compute  $d_l$  for upper mantle particles in geodynamic models of the Cascadia Subduction Zone fabric, generated by an updated version of the D-Rex code of Kaminski et al. (2004). Comparing these findings with the foliation orientation, determined from the modeled fabric, we relate the resolved variation in  $d_l$  polarity to changes in the mantle flow field.

## SO-P-09

### Investigation of the Upper Mantle Discontinuities beneath the Moroccan Shelf with P-Wave Receiver Functions

*T. Rein<sup>1</sup>, K. Spieker<sup>1</sup>, M. Korn<sup>1</sup>, C. Thomas<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie, Leipzig, <sup>2</sup>Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster

The Moroccan Shelf Region as transition from ocean to continent is located in the vicinity of the Canary Hot Spot and the Moroccan Hot Line. Thus, it is an extraordinary location with respect to the composition of the mantle. Previous studies found evidence for a discontinuity at around 350 km depth beneath the Moroccan Shelf. This discontinuity was interpreted as X-discontinuity which is not globally observed and its origin is highly debated. Explanations for its existence include phase transitions also due to high amount of water in the mantle or even anisotropy of minerals at that depth.

The Morocco-Münster Array deployed from November 2010 until April 2013 in SW Morocco gives us the opportunity to investigate the upper mantle discontinuities beneath the shelf region. We use teleseismic P-wave Receiver Functions to investigate the upper mantle discontinuities beneath the shelf with the focus on the X-discontinuity. We estimate the depth and sharpness of this discontinuity as well as possible interaction with the mantle transition zone discontinuities, i.e., to track patterns of visibility, amplitude change and sharpness of these upper mantle discontinuities.

We find a prominent X-discontinuity beneath the Moroccan Shelf at depths of 320 to 380 km as well as mantle transition zone discontinuities at depths of 390 to 460 km and 610 to 700 km. Very prominent is a splitting of the 660-km discontinuity resulting in wave conversions at 610 to 640 km depth and at 660 to 700 km depth. This is in agreement with non-olivine phase transitions, i.e., phase transition of garnet to Ca-perovskite and of garnet to ilmenite and perovskite. If the X-discontinuity has a high amplitude the 410-km discontinuity is more difficult to observe in the data. Moreover, we find slight evidence

for a low-velocity zone above the 410-km discontinuity at about 390 km depth which was previously hypothesized to be a sign of high amounts of water in the mantle.

## **SO-P-10**

### **Seismoelectric earthquake signals - a new approach to study the subsurface?**

**L. Dzieran, M. Thorwart, W. Rabbel**

Christian-Albrechts-Universität, Kiel

During earthquakes magnetotelluric stations occasionally record (seismo)electric signals similar to seismograms. The seismoelectric (SE) field, consisting of a coseismic field and interface responses (IRs), is caused by electrokinetic coupling. The coseismic field is bound and proportional to seismic compressional waves. IRs, which are electromagnetic waves excited at interfaces due to electric and hydraulic discontinuities, travel independently from the seismic field. As it is difficult to separate IRs from the coseismic field, the ratio of the electric and seismic spectra, known as the seismoelectric spectral ratio (SESR), can be calculated to visualize the impact of the IRs on the SE signal.

The amplitudes of the IRs and consequently the SESRs are sensitive among others to salinity, porosity and permeability. This raises the question whether SESRs can be used to monitor these parameters in the subsurface. We present modeling results for a proposed case study on local earthquakes at the Armutlu Peninsula in Turkey. The results show that SESRs are sensitive to parameter variations in the first few hundred meters of the subsurface leading to undulations at frequencies around 1 Hz.

## **SO-P-11**

### **Tiefe Erdbeben in der Unterkruste in Norddeutschland**

**T. Plenefisch<sup>1</sup>, N. Gestermann<sup>1</sup>, C. Brandes<sup>2</sup>, D. C. Tanner<sup>3</sup>, H. Steffen<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>BGR Hannover, Hannover, <sup>2</sup>Leibniz Universität Hannover, Hannover, <sup>3</sup>Leibniz Institut für Angewandte Geophysik, Hannover, <sup>4</sup>Lantmäteriet, Gävle, Schweden

Norddeutschland ist eine Region mit geringer tektonischer Seismizität und wurde daher oft auch als eher aseismisch eingestuft. In den letzten Jahrzehnten traten vor allen Dingen Erdbeben im Bereich der Erdgasfelder auf, die aufgrund ihrer räumlich-zeitlichen Nähe zu den Erdgasfeldern und der Gasproduktion als induzierte Erdbeben eingestuft wurden. In prähistorischer und historischer Zeit konnten allerdings auch moderate tektonische Erdbeben in Norddeutschland entlang größerer Aufschiebungszonen nachgewiesen werden (Brandes et al., 2015).

Seit dem Jahr 2000 wurden nun in Norddeutschland 5 Erdbeben in der weiteren Umgebung der Elbe registriert und lokalisiert, die eindeutig tektonischen Ursprungs sind und vergleichsweise große Herdtiefen aufweisen. Für 4 der Beben liegen die ermittelten Herdtiefen in der Unterkruste zwischen 20 km und knapp über 30 km und zum Teil sehr nahe der Moho. Die Erdbeben haben Magnituden im Bereich zwischen ML 1.3 und 3.1. Der Nachweis der schwachen seismischen Ereignisse ist unter Anderem dem verbesserten Monitoring induzierter Erdbeben im Bereich der Erdgasförderung zuzuschreiben. Die Festlegung der Herdtiefe und ihrer Unsicherheitsbereiche ist trotzdem relativ schwierig, da herdnahe Stationen fehlen und die Signal/Unruhebedingungen für die existierenden

Stationen in etwas größerer Entfernung aufgrund der Sedimentbedeckung nicht gut sind. Die Ableitung der angegebenen Tiefen ergibt sich aus den Residuen der beobachteten und berechneten Phaseneinsätze (Pg, Pn, Sg, Sn) in der Lokalisierung und manifestiert sich auch in der zumeist relativ geringen Überholentfernung der Pn zur Pg Phase. Weiterhin interessant ist die trotz geringer Magnitude weite Ausbreitung der Pn Phasen bis zu Entfernungen von mehr als 500 km sowie auch die z. T. hochfrequenten Signalanteil in den Pn-Phasen, die als weitere Indizien für einen tiefen Erdbebenherd angesehen werden können.

Ein Vergleich der Hypozentren mit der Lage der aus vorwiegend reflexionsseismischen Messungen bekannten Hauptstörungssysteme zeigt, dass zwei der Hypozentren nahe der Elbe-Linie beziehungsweise nahe der Thor Sutura liegen. Dies unterstützt die Hypothese, dass sich Erdbeben in Intraplattenregionen an vorgeprägten Schwächezonen konzentrieren. Drei Erdbeben besitzen Tiefen im Bereich der Moho. Dies könnte darauf hindeuten, dass die Krusten-Mantelgrenze als strukturelle Diskontinuität auftritt, an der rezente Deformation stattfindet.

## SO-P-12

### **Ambient Noise Tomography Across the Oman Ophiolite**

**L. Wiesenberg, C. Weidle, A. El-Sharkawy, T. Meier**

Department of Geosciences, Christian-Albrechts-Universität, Kiel

The Oman ophiolite is one of the best preserved and studied ophiolites, where oceanic lithosphere was obducted on top of a continent. It covers an area of about 700 x 140 km with a thickness of up to 12 km. In this work, we want to use surface wave tomography by using ambient noise data, to image the 3D geometry of the ophiolite which is almost entirely unknown. This will lead to a better understanding about the origin of the Oman ophiolite, the obduction process which occurred around 94-97 million years ago, and the internal properties of the Oman ophiolite itself. Therefore, we operated a network of 54 seismic stations (40 temporary, 14 permanent) for passive seismic registration from October 2013 to February 2016. The analysis of ambient seismic noise allows us to calculate the Green's function for vertical, radial and transverse components by cross correlating the data of two different stations. This has been done for every possible combination of stations (#1855). Afterwards we estimate phase velocities by taking the observed phases from our Green's functions and fitting them to a Bessel function which depends on frequency and phase velocity. The results are promising. We find distinct differences in the dispersion curves at lowest periods (2-5s) which can be interpreted as structural differences in the uppermost part of the crust. Paths across the ophiolite show consistently higher phase velocities than those further south which traverse sedimentary sequences only. Synthetic tests on 1D inversion of the dispersion curves for shear wave velocity with depth illustrate the feasibility of the applied approach to resolve the 3D geometry of the Oman ophiolite across Northern Oman.

## SO-P-13

### Surface wave tomography across the Mediterranean and Middle East

**A. El-Sharkawy<sup>1, 2</sup>, T. Meier<sup>1</sup>, S. Lebedev<sup>3</sup>, C. Weidle<sup>1</sup>, L. Cristiano<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Christian Albrechts University, Institute of Geosciences, Kiel, <sup>2</sup>National Research Institute of Astronomy and Geophysics, Helwan, Cairo, Egypt, <sup>3</sup>Dublin Institute for Advanced Studies, Dublin, Ireland

The Alpine-Mediterranean mobile belt is, tectonically, one of the most complicated and active regions in the world. Since the Mesozoic, collisions between Gondwana-derived continental blocks (Africa and Arabia) with Eurasia, due to the closure of a number of rather small ocean basins in addition to the continent-continent collision zones, have shaped the region's geology. Plenty of studies analyzed the kinematics of the Mediterranean to capture the dynamics of the system addressing questions regarding the motion of Anatolia and Arabia or why the Hellenic trench retreats so fast. Nevertheless, the slab pull model can hardly explain the motion of Arabia which may be related to the slab pull exerted by the Makran system, given the slab beneath the eastern Anatolia-Bitlis-Zagros is probably inactive and has been detached. Despite the numerous studies that have attempted to characterize the lithosphere-asthenosphere structure in that area, details of the lithospheric structure and dynamics, as well as flow in the asthenosphere are, however, poorly known. A 3D shear-wave velocity structure of the lithosphere-asthenosphere system in the Mediterranean and the adjacent regions are investigated using new tomographic images obtained from surface wave tomography. An automated algorithm for inter-station phase velocity measurements is applied here to obtain both Rayleigh and Love fundamental mode phase velocities. We utilize a database consisting of more than 4000 seismic events recorded by more than 3000 broadband stations provided by WebDc/EIDA and IRIS. Moreover, for the first time, data from the Egyptian National Seismological Network (ENSN) are also included in the analysis. Path average dispersion curves are obtained by averaging the smooth parts of single-event dispersion curves. We calculate maps of Love and Rayleigh phase velocity at more than 100 different periods which in turns provide the local phase-velocity dispersion curve for each geographical grid node of the map. Each local dispersion curves is inverted individually for 1D shear wave velocity model using a newly implemented Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm. The resulted 1D velocity models are then combined to construct the 3D shear-velocity model. Our 3D isotropic SV model reveal significant variations in shear wave velocity both vertically and laterally in the crust and upper mantle structure showing the high variability of lithospheric structure of the Mediterranean basin.

## SO-P-14

### Synthetic Surface Wave Fields for the AlpArray Region

**M. Tesch, D. Köhn, T. Meier**

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel

The deployment of the AlpArray seismic network enables the observation of surface wave fields with an yet unprecedented resolution. It provides the opportunity to employ them for very high-resolution tomographic imaging of crustal and upper mantle structures. Those

include for instance the subducting Adriatic and Eurasian mantle lithosphere or LAB topography, features that exhibit significant lateral and vertical variations on scales of a few hundred kilometers.

In order to examine surface wavefield properties, it is necessary to set up an automated procedure for measuring phase differences and amplitude ratios with respect to synthetic waveforms calculated for a background model. Here, we demonstrate the calculation of synthetic wavefields by mode summation.

Complete time and frequency domain surface wave fields computed via mode summation are shown for various exemplary events during the deployment of the AlpArray network. Their properties are quantified. Moreover, they are compared with synthetic wavefields calculated numerically for a combination of the global models SL2013sv (Schaeffer and Lebedev, 2013) and SMEAN2 (Becker and Boschi, 2002) joined together at 410km.

## SO-P-15

### Seismological characterization of the 2012-2017 seismic swarms offshore Navidad (Central Chile)

*C. Valenzuela*<sup>1, 2, 3</sup>, *S. Cesca*<sup>1</sup>, *S. Ruiz*<sup>3</sup>

<sup>1</sup>GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, <sup>2</sup>University of Potsdam, Potsdam,

<sup>3</sup>Universidad de Chile, Santiago, Chile

Central Chile has been characterized in the last decades by a persistent presence of localized seismic swarms, some of them precursors of large earthquakes (e.g. before the 1985 Mw 8.0 Valparaiso earthquake. Most swarms at the Chilean subduction margin, however, did not evolve into major seismic activity, as those occurred in Copiapó in 1973 and 2006. We identify different spatiotemporal clusters of weak to moderate seismicity offshore Navidad (Central Chile), at latitudes comprised between 33°S and 35°S. Repeating swarm episodes are detected between 2012 and 2017, thanks to the densification of the seismic network following the 2010 Maule earthquake. In this study we characterize the hypocentral location, the spatio-temporal behavior, the magnitude and inter-event time distributions and the moment tensors of this recurrent swarm-like activity. The seismic swarm activity in the area of Navidad presents a frequency of approximately  $2.7 \pm 0.7$  years and an inter-swarm spatial migration of some kilometres. The Navidad swarms occur in a zone of lower coupling, when compared to the overall coupling in Central Chile. The spatial distribution of the swarm follows a preferentially east-west distribution; however, it remains so far unclear whether this geometry reveals structures observed in the Nazca plate, or whether it is due to location uncertainties. Swarm activity along subduction margins have been interpreted as indicators for aseismic slip, where the swarms occur in correspondence to a larger roughness of the plate interface. Under such hypothesis, the low coupling Navidad swarm region, which corresponds to the termination of the 2010 Pichilemu earthquake rupture, could act as a barrier for the rupture propagation of large events.

## SO-P-16

### Crustal anisotropy inferred from a single receiver-function splitting analysis - a tool for temporary seismic stations

*F. Link, G. Rümpker*

Institut für Geowissenschaften, Goethe-Universität, Frankfurt am Main

Previously proposed methods to infer crustal anisotropy from receiver functions require a more-or-less complete azimuthal coverage of the teleseismic events, as they are based on periodical variations of amplitudes and arrival times of the crustal Ps phases (e.g., Rümpker et al., 2014). In temporary deployments of seismic stations, the necessary azimuthal coverage, often, cannot be acquired.

Our new approach is based on an extension of the well-known H- $\kappa$ -stacking algorithm of Zhu and Kanamori (2000) to anisotropic media. In the inversion we use the polarizations and arrival times of the two crustal Ps- and PpPs-phases to simultaneously constrain the thickness of the crust, H, the average P to S velocity ratio,  $\kappa$ , the fast-axis orientation of the crust,  $\phi$ , and the percentage of anisotropy, a. The calculations are based on solving the eigenvalue problem of the anisotropic system matrix defined by Woodhouse (1974).

In the algorithm we rotate the receiver functions into the polarization direction of the fast and slow traveling crustal phases using variable fast-axis orientations. This enables a separation of the energy of the fast and slow traveling phases and serves to stabilize the inversion. In the stacking procedure we sum up the amplitudes of the rotated receiver functions based on simple crustal models, by systematically varying the corresponding parameters. The maximum of the stacking function is obtained for the model parameters (H, $\kappa$ , $\phi$ ,a) that best explain the observed receiver functions.

We apply the method to synthetic waveforms as well as to data from the Swiss seismic network and test for different (limited) event distributions.

We show that it is possible to obtain all parameters from one receiver function only, if the backazimuth of the event is different from the fast or slow axis direction (thus excluding “null” measurements).

## SO-P-17

### HELGA – Helgoland Array

*C. Weidle<sup>1</sup>, T. Meier<sup>1</sup>, G. Hartmann<sup>2</sup>, D. Becker<sup>3</sup>, C. Hadziioanou<sup>3</sup>, J. Bülow<sup>3</sup>, D. Schulte-Kortnack<sup>1</sup>, M. Thorwart<sup>1</sup>, C. Pilger<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Inst. f. Geowissenschaften, Kiel, <sup>2</sup>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, <sup>3</sup>Universität Hamburg, Hamburg

Helgoland ist die einzige deutsche Hochseeinsel, 50km vor der Küste in der Nordsee gelegen und seit über einem Jahrhundert Standort für seismologische Observationen. Seit 1956 betreibt die CAU Kiel in der James-Krüss-Schule eine Erdbebenwarte, welche seit 2001 digital an das GEOFON Netzwerk angeschlossen ist. Die seismischen Daten der

Station HLG sind erwartungsgemäß sehr stark von meteorologischen und ozeanografischen Einflüssen geprägt. Dazu zählen zuvorderst Variationen in der primären, sekundären, nicht zuletzt aber auch lokalen Meeresmikroseismik, welche im Frequenzbereich zwischen 0.3 Hz und 1Hz stark ausgeprägt ist.

Um Quellregionen und die physikalischen Anregungsmechanismen der Meeresmikroseismik näher untersuchen zu können, haben wir im Sommer 2017 ein temporäres Multi-Parameter-Array auf Helgoland installiert. Dazu gehören neben dem permanenten Seismometer fünf weitere Breitbandseismometer, insgesamt drei Mikrobarometer und zwei Tiltmeter.

Fragestellungen, welche mit dem derzeit operierenden Array adressiert werden können, umfassen Untersuchungen zur räumlichen und zeitlichen Quellverteilung der Meeresmikroseismik, wobei besonders die Beobachtung von Lovewellen im Frequenzbereich der Meeresmikroseismik bisher nicht schlüssig verstanden ist. Darüberhinaus bietet der Datensatz Möglichkeiten zur lokalen Strukturuntersuchung der Kruste und des oberen Mantels in der Nordsee oder zur Detektion von schwach seismischen Ereignissen welche in Zusammenhang mit der Salztektunik stehen könnten.

## **SO-P-18**

### **Automatic classification of seismic signals in the urban environment**

***D. Becker***

Hamburg University, Institute of Geophysics, Hamburg

Due to the presence of the highly variable background noise field, localizing and classifying weak, near surface sources of seismic energy in the urban environment is a challenging task. Seismic monitoring systems in this setting are often overwhelmed by the sheer amount of triggered seismic signals. A single approach to deal with all these signals generally fails because of the high variability of the signals with respect to e.g. frequency content, source position or duration. Thus, an automatic classification scheme for such events ideally combines different methods.

The suggested scheme incorporates results from travel time (automatically picked onset times) as well as waveform based (variable aperture array analysis and diffraction stacking of characteristic waveforms) analysis. In addition, also the frequency content, polarization and similarity of the recorded signals is analyzed. These results form the basis to decide whether a detected seismic signal originated inside or outside the monitoring network, at which depth it occurred and if it is of human or natural origin. As test cases two recording networks installed for monitoring possible sinkhole related microseismic activity in the urban environment are used. They provide the background noise environment as well as the transient anthropogenic sources of seismic energy. While natural microseismic events might also be present in these datasets, in addition synthetic events are created utilizing realistic velocity models and source mechanisms for the sinkhole environment to test and train the classification scheme.

Results indicate that the epicentral position (or direction to the source if it is outside the network) can be reasonably well determined by combining results from the array analysis and a grid search using the determined onset times. The determination of the source depth is more challenging and is generally only feasible for events within the recording network.



This also hampers the classification of an event as anthropogenic or natural. However, the analysis of the frequency content and signal spectrograms can give some indication on the origin of the signal.

Part of the field data used in this study was provided by DMT and stations and recorders from the GIPP pool were used in a temporary installation. This work has been funded through the German 'Geotechnologien' project SIMULTAN (BMBF03G0843B).

## SO-P-19

### **Near source region double difference attenuation tomography of the 2008 North-West Bohemian earthquake swarm**

***M. Kriegerowski<sup>1</sup>, S. Cesca<sup>2</sup>, M. Ohrnberger<sup>1</sup>, F. Krüger<sup>1</sup>, T. Dahm<sup>1,2</sup>***

<sup>1</sup>University of Potsdam, Institute of Earth and Environmental Science, Potsdam, <sup>2</sup>GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam

We developed a differential attenuation ( $1/Q$ ) tomography technique exploiting amplitude spectral ratios of velocity seismograms to gain insight into the rock properties of the North-West Bohemian earthquake swarms.

Attenuation of this seismically active region has been tackled in previous studies on regional scales using methods that focus on frequencies below the corner frequency. However, these applied approaches are not suited to resolve attenuation within the source region on scales down to few tens of meters. Our proposed method uses higher frequencies, above the corner frequency of S and P phases. This allows to draw conclusions on properties in between couples of sources sharing a common ray path from the source region to a receiver.

The method and analysis approach is validated using simulated realistic seismograms with additive noise recorded by the WEBNET seismological network. Furthermore, we discuss the effect of source directivity, rupture dimensions and magnitudes on our tomographic approach based on synthetic tests and conclude that either rupture directivities of coupled events need to closely resemble each other or require random distribution.

From our analysis we estimate that P and S phase attenuation ( $1/Q$ ) within the source region are significantly reduced in comparison to background attenuation. We observe considerable scatter of solutions which is dominated by high frequency noise.

As an attempt to further enhance resolution, the University of Potsdam installed short period seismometers sampling at 1000 Hz in Saxony, Germany close to the Czech border in October, 2017. We discuss the benefit of the increased frequency bandwidth by means of selected case study events which were recorded during the short installation period.

## SO-P-20

### **A simple to use toolbox for better constrained event depth from depth phase modeling and visualization**

***M. Kriegerowski<sup>1</sup>, F. Krüger<sup>1</sup>, S. Cesca<sup>2</sup>, T. Dahm<sup>1,2</sup>***

<sup>1</sup>University of Potsdam, Institute of Earth and Environmental Science, Potsdam,

<sup>2</sup>GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam

Depth estimates of seismic sources are prone to have larger uncertainties than epicentral locations. This is often linked to the trade-off with origin time, as well as source-receiver

geometries. Nevertheless, reliable hypocenter depth estimates are of special interest e.g. to discriminate between natural and induced seismicity. A proven method is to exploit the travel time differences between the direct P, surface reflected pP and converted sP phases at teleseismic distances. This can be challenging for small earthquakes due to a lack of radiated energy, as well as difficult picking of the surface reflected phases.

We demonstrate a toolbox named Abedeto ('Array Beam Depth Tool') for teleseismic depth phase analysis based on waveform modeling which allows to circumvent the problem of phase identification. Common preparatory work is done automatically like retrieving waveforms of arrays or estimation of back-azimuth and horizontal slownesses. According to these, array waveforms are stacked. Finally, a visualization of stacked seismograms together with synthetic waveforms calculated using separate source and receiver models allows to draw conclusions on hypocenter depths by visual comparison.

A recent extension of the tool allows to quickly stack and interpret aligned, normalized energy representations of seismograms comprising P, pP and sP phases. This enables to combine array and single station data which tend to give ambiguous results when interpreted separately.

## **SO-P-21**

### **Pyrocko - A versatile Software Framework for Seismology**

*S. Heimann<sup>1</sup>, M. Isken<sup>2</sup>, M. Kriegerowski<sup>3</sup>, S. Cesca<sup>1</sup>, N. Nooshiri<sup>1</sup>, A. Steinberg<sup>2</sup>, H. Sudhaus<sup>2</sup>, H. Vasyura-Bathke<sup>3</sup>, T. Dahm<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>GFZ Potsdam, Potsdam, <sup>2</sup>Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel,

<sup>3</sup>Universität Potsdam, Potsdam

Pyrocko is an open source seismology toolbox and library, written in the Python programming language. It can be utilized flexibly for a variety of geophysical tasks, like seismological data processing and analysis, calculation of Green's functions and earthquake models' synthetic waveforms and static displacements (InSAR and GPS). Those can be used to characterize extended earthquake ruptures, point sources (moment tensors) and other seismic sources.

The Pyrocko core library provides building blocks for researchers and students wishing to develop their own applications.

## **SO-P-22**

### **Intraplate seismicity around Rodrigues (Indian Ocean) from time-domain array analysis**

*M. Singh<sup>1,2</sup>, G. Rümpler<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Goethe-University Frankfurt, Frankfurt, <sup>2</sup>Mauritius Oceanography Institute, Albion, Mauritius

Rodrigues Island is located at the eastern end of the Rodrigues Ridge, approximately 650 km east of Mauritius. Rodrigues Ridge connects the Reunion hotspot track with the Central Indian Ridge (CIR) and has been suggested to represent the surface expression

of a sub-lithospheric flow channel. From global earthquake catalogues, the seismicity around Rodrigues Island has been generally associated with events related to the fracture zones at and off the CIR. Here, we report on the seismicity recorded at a temporary array of ten seismic stations operating on Rodrigues Island from Sept. 2014 until June 2016 with a focus on the possible seismic activity along Rodrigues Ridge.

Based on our initial estimates on earthquake distance and frequency content, the aperture of the array was set to about 4 km. The 10 stations were arranged such as to minimize the influence of sidelobes of the array response function. However, to infer backazimuth and apparent velocity, the array analysis was performed in the time domain - by time shifting and stacking of the complete waveforms. Event distances were estimated based on a simple 1-D velocity model and the travel-time differences between S- and P-wave arrivals. Based on the results local magnitudes of the events were also obtained.

From the array analysis, we detected and located 62 new events, which were not reported by the global networks. Most of the events are located off the CIR and can be classified as intraplate events. Three different seismic clusters were observed around the island. Most of the events were localized in the north-east of Rodrigues at distance of about 140 km from the reference station of the array. A distinguishable swarm of earthquakes was observed to the west of the spreading segment of the CIR during the period from March to April 2015. Local magnitudes of the events varied between 1.6 and 3.7. The Rodrigues Ridge appeared aseismic during the period of operation.

## **SO-P-23**

### **The crustal structure beneath Mauritius from teleseismic P-receiver functions - oceanic or continental?**

***M. Singh*<sup>1, 2</sup>, *A. Kaviani*<sup>1</sup>, *G. Rumpker*<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Goethe-University Frankfurt, Frankfurt, <sup>2</sup>Mauritius Oceanography Institute, Albion, Mauritius

It has recently been suggested that the volcanic island of Mauritius may be underlain by a remnant of continental origin termed 'Mauritia'. To constrain the crustal thickness beneath Mauritius, we analyzed data from 11 land stations, 10 of which were deployed recently by the RHUM-RUM project. From the recordings, we obtained 382 P-receiver functions (RFs). By applying the H- $\kappa$  stacking technique, we derive crustal thicknesses of approximately 10–15 km. We observe a considerable variation in the Vp/Vs-ratio caused by a lack of clear multiples. Using forward modeling of RFs, we show that the lack of clear multiples can be explained by a transitional Moho, where the velocity increases gradually. The modeling further indicates that the thickness of this gradient zone is estimated to be approximately 10 km. We argue that our findings suggest oceanic crust thickened by crustal underplating due the mantle plume currently located beneath the La Réunion.

## **SO-P-24**

### **Capabilities of a single seismic station for detection of local and global seismicity**

**R. Mittag**

TU Bergakademie, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg

Single seismic station capability for detecting seismicity is statistically investigated for seismological routine analysis, carried out at Seismological Observatory Berggießhübel (BRG).

The data analysis of the observatory is done in the tradition of observatory practice, which provides data for the monitoring of local, regional and global seismicity simultaneously. For event and phase type determination in routine station analysis, data are compared with the hypocenter determination results of the local seismic network SXNET and the European data center EMSC. Because seismic station BRG is integrated into the real time information and seismic event notification services of both seismic monitoring systems, a reliable association of event and phase type of the station records can be done. Based on that sophisticated manual routine analysis, the International Seismological Centre ISC can be provided with most accurate and relevant data of extensively exploited waveform data. According to statistical investigations, at least 7000 up to over 10000 seismic events are recorded by the observatory BRG every year. The statistics for the last 10 years represent the amount of detected seismic events and proportion of event types. Nearly one third of the detected events are earthquakes and 16% are associated with mining induced seismic events. Because station BRG is situated in a very dense region of explosion sites, nearly the half of detected events are explosions.

The station capability for detecting lowest magnitude event in relation to epicentral distance is investigated, using the ISC database. Statistical investigations prove, that from about 3 degree up to 10 degrees of epicentral distance an increase of magnitude threshold from  $M_w \sim 3,3$  to  $M_w \sim 4$  is significant. From 10 degrees up to about 25 degrees a weaker increase of magnitude threshold to  $M_w \sim 4.5$  with a decreased magnitude threshold around 20-degree-discontinuity is obvious. From epicentral distance of 25 degrees the magnitude threshold values is slightly increased up to  $M_w \sim 5$ . For epicentral distances around 80 degrees a decreased magnitude threshold value is demonstrable. From cumulative magnitude-frequency distribution of events, recorded at station BRG, a threshold magnitude of  $M_w \sim 5,0$  for comprehensive detection of global seismicity can be derived.

## **SO-P-25**

### **Infrasound observations from events at the North Korean nuclear test site**

**K. Koch, C. Pilger**

Bundesanstalt Geowissenschaften & Rohstoffe, Hannover

Since 2006 the Democratic People's Republic of Korea (North Korea) has carried out six underground nuclear tests at the Punggye-ri test site at 41.3°N and 129.1°E. These nuclear test explosions have all been detected seismically by the International Monitoring System (IMS) of the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization (CTBTO), with an increasing number of seismic stations which resulted in the reduction of the estimated error ellipse from some 900 km<sup>2</sup> in 2006 to less than 200 km<sup>2</sup> by 2013. For the third test

conducted in 2013 the REB contained for the first time also acoustic arrivals that were detected at two infrasound stations of the IMS. Stations IS30 in Japan and IS45 in Russia are located at about 1200 km and 400 km, respectively, from the North Korean test site. A second infrasound arrival at IS45 from the latest test in September 2017, which was also the largest one with a seismic magnitude of  $m_b=6.1$  (IDC), was detected and associated to this event in the REB.

Based on reports of infrasound observations starting with the 2009 event at regional infrasound stations in South Korea we have conducted a study of all infrasound data available at the two IMS infrasound stations for the six nuclear tests. Starting from the 2013 nuclear test and verifying the arrivals published in the REB by applying frequency-wavenumber techniques, we found additional signals related to the other tests except for the 2009 and September 2016 events. These infrasound signals were further investigated by atmospheric wave propagation modeling to further support the observations, or to explain the lack thereof. For 2009 we further investigated an infrasound observation at IS45 that was late in order to be attributed as epicentral infrasound from the nuclear test. Here we find evidence that this arrival is consistent with an early arrival at South Korean infrasound arrays and the event postulated by Che et al. (2014) as seismic-acoustic conversion near the coast line south-south east of the underground test. However, we find also indications that the event was not near the surface but at altitude and hence could be related to a supersonic boom source, such as an aircraft.

## UI Umwelt- und Ingenieurgeophysik *Vorträge*

### UI-01

#### **Interdisziplinäre geophysikalische Untersuchung eines Subrosionsgebietes**

**S. H. Wadas<sup>1</sup>, H. Bunes<sup>1</sup>, P. Skiba<sup>1</sup>, R. Rochlitz<sup>1</sup>, T. Günther<sup>1</sup>, M. Grinat<sup>1</sup>, D. C. Tanner<sup>1</sup>, U. Polom<sup>1</sup>, C. M. Krawczyk<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>Leibniz Institut für Angewandte Geophysik, Hannover, <sup>2</sup>GFZ Potsdam, Potsdam, <sup>3</sup>Technische Universität Berlin, Berlin

Bei der Untersuchung eines großräumigen Subrosionsgebietes wurden interdisziplinäre geophysikalische Methoden (P- und S-Wellen Reflexionsseismik, Geoelektrik (ERT/TEM) und Gravimetrie) eingesetzt.

Das Untersuchungsgebiet Esperstedter Ried befindet sich in Thüringen südlich des Kyffhäuser und ist die größte Binnensalzstelle der Region. P- und S-Wellen Reflexionsseismik dienen der strukturellen Erkundung des Untergrundes, wobei überdeckte Subrosionsstrukturen, Subrosionszonen in ca. 300 m Tiefe, Störungen und Brüche identifiziert werden konnten. Die Geoelektrik hat Zonen erhöhter Leitfähigkeit im Umfeld der Störungen nachweisen können, ebenso wie grundwasserleitende und –hemmende Schichten. Es zeigt sich, dass das Grundwasser entlang der Brüche und Störungen in die tiefergelegene Zechstein-Formation migriert und zur Auslaugung der Evaporite führt. In Bereichen mit artesisch gespanntem Grundwasser steigt das salzhaltige Wasser wieder auf, was in der Ausbildung der Binnensalzstelle resultierte. Die Analyse der Gravimetrie-Daten zeigt lokale Minima der Bouguer-Anomalie in den Bereichen, die mittels

Seismik und Geoelektrik als Subrosionszonen identifiziert worden sind. Die Schwereanomalien weisen demnach auf subrosions-induzierte Massenumlagerungen im tieferen Untergrund hin.

Für die Anwendbarkeit auf andere Subrosionsgebiete lässt sich zusammenfassen, dass die Kombination von P- und S-Wellen Reflexionsseismik in der Lage ist, sowohl tiefliegende und großskalige, als auch oberflächennahe und kleinskalige Strukturen zu detektieren. Geoelektrik eignet sich besonders um Fluidwegsamkeiten und Aquifere zu identifizieren und Gravimetrie erweitert das Subrosionsmodell durch den Nachweis von Massenumlagerungen im Untergrund. Da die Auslaugung löslicher Gesteine und die resultierenden Strukturen ein interagierendes Phänomen darstellen, ist ein solch interdisziplinärer geophysikalischer Untersuchungsansatz auch für andere Subrosionsgebiete empfehlenswert.

## **UI-02**

### **Monitoring von Belastungsversuchen an Brückenträgern mit Ultraschall und Codawelleninterferometrie**

**E. Niederleithinger**

BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, FB 8.2, Berlin

Für die Definition realitätsnaher Bemessungsmodelle für das Tragverhalten bestehender Spannbetonbrücken sind Informationen zu im Bauteil stattfindenden Umlagerungsprozessen sowie die Druckspannungsverteilung infolge der Interaktion aus Biegung und Querkraft von Interesse. Dies kann mit konventioneller Messtechnik bislang nicht zweifelsfrei beantwortet werden. Ultraschallmessungen mit eingebetteten Sensoren könnten hier zukünftig eine sinnvolle Ergänzung zur konventionellen Messtechnik sein. Durch Einsatz einer neuartigen Auswertetechnik, der aus der Seismologie adaptierten Codawelleninterferometrie (CWI), sind hiermit schon sehr kleine Änderungen im Material detektierbar.

Um diese neue Methodik zu evaluieren, wurden Messungen im Rahmen eines Forschungsprojekts der RWTH Aachen und der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) durchgeführt. In diesem Projekt wurden durch die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) Ultraschall-Transducer in mehrere zweifeldrige Spannbetonträger, die anschließend bis zum Bruch belastet wurden. Der Belastungsversuch an einem der Spannbetondurchlaufträger zeigte das große Potential dieser Methodik. Die im Netzwerk erfassten Änderungen der Ultraschallwellengeschwindigkeit geben die Spannungsverhältnisse im Längsschnitt des Trägers schon bei sehr niedrigen Belastungen qualitativ richtig wieder und zeigen bei hohen Belastungen eine gute Korrelation zum Rissbild. Dabei weisen räumliche Anomalien und Änderungen in der Charakteristik der Geschwindigkeitsänderungen oft schon auf Rissbildung hin, wenn diese noch nicht an der Oberfläche sichtbar ist. Dies zeigt das Potential im Hinblick auf eine Frühwarnung. Hierfür und ebenso in Bezug auf eine Quantifizierung der Effekte ist aber noch Entwicklungsarbeit notwendig. Weitere Versuche zeigten, dass auch bei einer Halbierung der Transducerzahl auf gleicher Fläche noch verwertbare Ergebnisse zu erzielen sind. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Transducer nicht direkt am Ort der Änderung platziert werden müssen und einen relativ großen Bereich um die Transducer herum erfassen.

### UI-03

#### Langzeitmonitoring von Verkarstungsprozessen mittels SIP

*F. Mai<sup>1</sup>, R. Kirsch<sup>2</sup>, D. Klinkhardt<sup>1</sup>, C. Rücker<sup>1</sup>, F. Börner<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Technische Universität Berlin, Angewandte Geophysik, Berlin, <sup>2</sup>GEOimpulse Geophysik Geothermie, Kiel

Verkarstungs- und Subrosionsprozesse führen in unterschiedlichen geologischen Formationen zur Bildung von Erdfällen. Ihre in der Regel abrupte Entstehung stellt ein erhebliches Georisiko vor allem in dicht besiedelten Gebieten dar, da erhebliche Schäden an Menschen und Sachgütern entstehen können. Häufig sind Verkarstungserscheinungen mit Anomalien im Grundwasserströmungsfeld und Heterogenitäten in den löslichen Sedimenten verbunden.

Ein besseres Verständnis der Genese von Erdfällen ist essenziell, um auf lange Sicht ein Früherkennungssystem für das Auftreten von Erdfällen zu entwickeln und somit das Risiko durch Erdfälle zu reduzieren. Mit dem Ziel der Entwicklung von Sensoren und Multiskalen-Überwachungsmethoden erforscht der Projektverbund „SIMULTAN“ Erdfälle und deren Begleiterscheinungen.

Mitarbeiter der Technische Universität Berlin beschäftigen sich im Rahmen von SIMULTAN vorrangig mit den Lösungsvorgängen von Gips- und Kalkgesteinen sowie deren Folgeprozesse und Korrelationen mit hydraulischen Erscheinungen aus petrophysikalischer Sicht. Dabei steht die komplexe frequenzabhängige (mHz bis kHz) elektrische Leitfähigkeit von Gesteinen in Verkarstungsgebieten im Fokus. Diese Messungen werden sowohl im Labormaßstab, als auch im Erdfallgebiet Münsterdorf (Schleswig-Holstein) durchgeführt. Als Bindeglied zwischen Labormessungen und Feldergebnissen wurde eine Messzelle erstellt, in der Verkarstungserscheinungen im Labormaßstab simuliert werden sollen.

In Münsterdorf werden die Messungen als Monitoring an einem stationären Messsystem, bestehend aus zwei fünf Meter voneinander entfernten Bohrlöchern, betrieben. Die bisherigen Ergebnisse deuten vor allem in den Phasenverschiebungswerten darauf hin, dass Lösungsprozesse im Kontaktbereich zu der im Untergrund befindlichen Kreide ablaufen und detektiert werden können.

Die systematischen Labormessungen der komplexen elektrischen Leitfähigkeit werden an Lockersedimentproben vorgenommen, die mit Porenwässern unterschiedlicher Ionenzusammensetzung (Calciumcarbonat, Calciumsulfat und/oder Natriumchlorid) gesättigt sind. Es deutet sich an, dass Effekte von erhöhtem Gips- bzw. Kalkgehalt im Grund- bzw. Porenwasser auf die Leitfähigkeitsbeiträge des Gesteines abgeschätzt werden können. Dabei wird sowohl die Lösung der verkarstungsfähigen Gesteine selbst als auch die Beeinflussung benachbarter, nichtlöslicher Lockersedimente betrachtet.

## UI-04

### **Altreifendeponie Ohlsdorf - Fallbeispiel einer ungewöhnlichen Deponieerkundung**

**A. Freudenthaler<sup>1</sup>, W. Chwatal<sup>1</sup>, A. Flores-Orozco<sup>2</sup>, C. Schmid<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Pöyry Infra GmbH, Wien, Österreich, <sup>2</sup>Technische Universität, Dep. Geodäsie und Geoinformation, Wien, Österreich, <sup>3</sup>ZT f. Erdölwesens, Gmunden, Österreich

In Ohlsdorf/Oberösterreich wurden in einer ausgebeuteten Schottergrube über Jahrzehnte Altreifen genehmigt deponiert. Nach Selbstzündungen und vermuteten Grundwasserkontaminationen muss die Deponie geräumt werden. Die Altreifen werden seither freigelegt, geschreddert und einer thermischen Verwertung zugeführt. Nachdem die geplanten Zeitrahmen immer wieder überschritten werden, sollte das verbliebene Restvolumen durch Bohrungen ermittelt werden. Erste Versuche wurden jedoch auf Grund technischer und finanzieller Risiken abgebrochen. Der undefinierte Bohrwiderstand durch die hohe Elastizität der Reifen und die unverfüllten Zwischenräume beeinträchtigten die Bohrbarkeit. Auf Grund der luft- oder wassergefüllten Zwischenräume war der Spülungsbedarf nicht abschätzbar und musste auf Trockenbohrverfahren zurückgegriffen werden. Die hohe Reibungshitze beim Trockenbohrprozess konnte daher nicht abgeführt werden und brachte eine hohe Entzündungsgefahr mit sich. Daher wurde angedacht, mittels geophysikalischer Methoden die Ausdehnung einzugrenzen und das Restvolumen zu ermitteln. Da den Autoren keine ähnlichen Fallstudien bekannt waren und es nicht abschätzbar war, welche geophysikalische Parameter geeignet sind, dieses Material zu erkunden, wurden in einer ersten Testphase folgende Verfahren in Betracht gezogen: seismische und geoelektrische Profilierung, eine elektromagnetische Kartierung und Georadarmessungen.

Die Verdachtsfläche selbst ist in Hanglage errichtet und weist ausgeprägte Geländestufen auf. Der Untergrund wird von fluvioglazigenen Lockergesteinen oder Flyschgesteinen gebildet, Grundwasser war teilweise vorhanden. Die Altreifen liegen zum Teil frei oder sind mit bis zu einem Meter mit Abraum bedeckt. In verschiedenen Bereichen waren Altgeräte des Schotterabbaus oder die Förder- und Schreddermaschinen abgestellt, was die flächige Bearbeitung mittels Elektromagnetikkartierung unmöglich machte. Georadarmessungen waren auf der teilweise bewachsenen Bedeckung oder den freiliegenden Reifen nicht sinnvoll durchführbar. So wurde die Verdachtsfläche schließlich mittels profilhafter seismischer und geoelektrischer Messungen erkundet. Die doch überraschende Inhomogenität des abgelagerten Materials und die geologischen Materialien erschwerten die Interpretation der Sektionen. Mithilfe von Schürfgruben konnten jedoch gewisse Anomalien geklärt werden, die Ausdehnung weiter eingeschränkt und das Restvolumen schließlich abgeschätzt werden.



## **UI-05**

### **Das gemeinsame Forschungsinstitut des LIAG und der Xinjiang-Universität zur Untersuchung unkontrollierter Kohlebrände**

**M. W. Wuttke**

Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Hannover

Unkontrollierte und spontan induzierte Brände in flach anstehenden oder ausbeißenden Kohleflözen, vornehmlich in Nordamerika, Australien, China und Indien, belasten Klima und Umwelt durch das Freisetzen großer Mengen an Luftschadstoffen, darunter insbesondere das Treibhausgas Kohlendioxid. Seit Jahren hat sich das LIAG an wissenschaftlichen Untersuchungen zum Prozessverständnis und letztlich zur Eindämmung und Verhinderung von Kohleflözbränden in Nord-China beteiligt. Die Zusammenarbeit mit der Xinjiang Universität in Urumqi und dem dortigen Xinjiang Coal-Fire Fighting Bureau ist 2017 durch die Gründung des XJU-LIAG Joint Center on Coal-Fire Research verstetigt worden. Für die Erkundung, Quantifizierung und Monitoring von Kohleflözbränden sowie die Überwachung von Risikogebieten (dazu gehören explizit auch gelöschte Kohlebrände) soll das gesamte methodische Portfolio des LIAG angewendet werden: Oberflächenveränderungen sollen mit LIDAR erfasst und quantifiziert werden.

Die Kombination mit Wärmebildern liefert genaue Karten der thermischen Oberflächen-anomalien. Die unterirdische Brandzone wird durch die thermisch induzierten Änderungen der elektromagnetischen Eigenschaften von Kohle und Umgebungsgestein lokalisiert. Durch Verwendung der Elektronen-Spin-Resonanz-Methode können Temperaturfelder im Untergrund rekonstruiert werden. Des Weiteren sind wesentliche Transporteigenschaften von Kohle und Umgebungsgestein mit den Methoden der Petrophysik darstellbar. Die komplexen Systemstrukturen und Prozesskopplungen im Kohlebrand werden durch Simulationen mit numerischen Modellen erschlossen, die anhand der Messdaten kalibriert werden.

## **UI Umwelt- und Ingeniergeophysik B3 – Poster B**

### **UI-P-01**

#### **Modellierung anisotroper Gesteine mittels Diskreter Elemente am Beispiel von Gneis**

**R. Morgenstern, H. Konietzky**

TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geotechnik, Freiberg

Die Modellierung anisotroper Gesteine ist in den letzten Jahren immer wichtiger geworden. Nicht nur Forschungseinrichtungen, sondern auch Industriefirmen erkennen den Mehrwert dieser Simulationen. Am Beispiel von Gneis soll die Entwicklung eines numerischen Modells für den Prozess einer schneidenden Gewinnung demonstriert werden. Im weiteren Verlauf wird die Kalibrierung eines Gesteinsmodells anhand von anisotropen Gneis bestehend aus Diskreten Elementen vorgestellt. Es wird sowohl der Modellaufbau, als auch die Kalibrierung und numerisch basierte Optimierung der Modellparameter diskutiert,

um abschließend die Simulation des Schneidprozesses selbst vorzustellen. Die Ergebnisse der Simulationen werden jeweils mit Labordaten verglichen und deren Genauigkeit eingeschätzt.

## **UI-P-02**

### **Revitalization of a fully automated ultrasonic measurement bench**

*E. Diethart-Jauk, K.-S. Langer, T. H. Bauernhofer, G. Probst, N. Gegenhuber, P. O'Leary*

Montanuniversität Leoben, Leoben, Austria

An unique measurement bench was revitalized and programmed by the Department Product Engineering, Chair of Automation on the Montanuniversitaet Leoben. Therefore, the measurement bench was brought up to state with the latest technology. New cabling, an emergency switch and a software program have been installed. An automatic mode, a semiautomatic and a jog mode enable now a fully automated compressional wave velocity scan from core samples, which leads to significant saving of time. Geotechnical and geophysical parameters, which are essential in technical issues, can so easily be determined. First investigation included measurements with a standard (aluminium), with the aim to see if the instrument works well and it worked greatly. Furthermore, a gneiss sample was used to see if macroscopic properties, e.g. schistosity, can be detected by the measurement bench. The sample was scanned every 5cm in 30° steps and showed a heterogeneous compressional wave velocity distribution due to schistosity, quartz bands and grain size distribution.

## **UI-P-03**

### **Levee monitoring at Elbe River**

*A. Weller<sup>1</sup>, R. Lewis<sup>2</sup>, U. Hoffmann<sup>2</sup>, M. Möller<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>TU Clausthal, Institut für Geophysik, Clausthal-Zellerfeld, <sup>2</sup>Planungsgesellschaft Scholz+Lewis mbH, Dresden

Methods for monitoring and prediction of transient seepage flow by numerical calculations have to be developed for the risk assessment of slopes in unsaturated soils. Such approaches can be useful for the assessment of the stability of levee embankments.

Extensive field and laboratory tests and in situ measurements were performed at a reference test site at a levee of Elbe River close to Dresden. The long-term monitoring system consists of a permanent electrode array for resistivity imaging and geotechnical tools including tensiometers, frequency-domain reflectometry sensors and an automatic logging system to measure the groundwater level in an observation well. Additionally, a meteorological unit measures air temperature, humidity, and precipitation. The monitoring systems records time series of volumetric water content, pore water pressure, soil temperature, and electrical conductivity at different locations and depths along a profile crossing the levee.

The components of the levee monitoring system have been working for more than two years without any failure. If adequate forecast models are available the comprehensive data sets recorded by the monitoring systems can be used to recognize critical states of seepage flow and levee stability.

The fundamental studies for the development of forecasting models for transient seepage flow have been done by field measurements and laboratory investigations of soil parameters

that are necessary for the calculation of stability considering the variability of the relevant parameters in the unsaturated soil zone. Model tests for different soil types and levels of saturation have been performed and evaluated. The dependence of the electrical conductivity on lithology, water content, water salinity, and temperatures have been investigated. The results of the model calculation have to be verified by comparison with the available field data.

#### **UI-P-04**

#### **Test-UM Wittstock: Testfeld zur Erprobung und Entwicklung geophysikalischer und Direct-Push basierter Monitoring Methoden**

**S. Birnstengel<sup>1</sup>, U. Werban<sup>1</sup>, H. Paasche<sup>2</sup>, G. Hornbruch<sup>2</sup>, A. Dahmke<sup>2</sup>, P. Dietrich<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Leipzig, <sup>2</sup>Christian-Albrecht-Universität zu Kiel, Kiel

Die geotechnologische Nutzung des Untergrundes, beispielsweise als Erdgas- oder Wärmespeicher in Aquifer-Formationen, stellt einen maßgeblichen Beitrag zur Versorgungssicherheit dar.

Im Gegensatz zur derzeitigen Nutzung des geologischen Untergrundes als Gasspeichermedium steht die geringe Anzahl an Geländeexperimenten, welche unter kontrollierten Randbedingungen, zur Abschätzung potentieller Grundwassergefährdung durchgeführt werden.

Ziel des BMBF-geförderten Projektes "Testfeld zur Untersuchung und zum Monitoring durch die Nutzung des Untergrundes induzierter reaktiver Mehrphasentransportprozesse in oberflächennahen Aquiferen" ist der Aufbau, Betrieb und die Etablierung eines entsprechenden Testfeldes. Dazu werden Methoden und Strategien zur Erkundung und Beobachtung reaktiver Prozesse im Grundwasser entwickelt, sowie damit verbundene geophysikalische, hydrochemische, mikrobielle und geomechanische Aus- und Wechselwirkungen inkl. Gasphasenbildung analysiert.

Mit einer Kombination aus geophysikalischen Messverfahren und Direct-Push Technologien (DP) wird ein adaptiver Ansatz zu differenzierten Erkundung des Messgebietes in Wittstock / Dosse verfolgt. Das Testfeld befindet sich auf dem Gebiet des alten Militärflugplatzes Alt Daber. Die oberflächennahen Aquifere sind durch ihre glaziale Entstehungsgeschichte geprägt und weisen einen typisch sedimentären Untergrund auf. Es zeigt sich, dass nur eine Verknüpfung geoelektrischer und elektromagnetischer Parameter mit hochaufgelösten Vertikalprofilen elektrischer und hydraulischer Leitfähigkeiten sowie die Untersuchung von Sedimentkernen hinreichend Aufschluss über den oberflächennahen Untergrund liefert. Die dabei erzielten Erkenntnisse führen zur Identifizierung geeigneter Injektions- und Wärmespeicher- Testfelder.

Auf diesen ausgewählten Testfeldern finden in Zukunft kontrollierte Injektionen reaktiver und "nicht"-reaktiver Gase ("Luft" (N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>), CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>) sowie Tests zur Wärmeinspeicherung bzw. Wärmeentzug im oberflächennahen Untergrund über einen abgegrenzten Zeitraum statt.

Die Nutzung des Testfeldes wird perspektivisch allen interessierten nationalen und

internationalen Forschergruppen zur Erprobung eigener Methoden im Meta-Maßstab zur Verfügung stehen und ist ausdrücklich erwünscht.

## UI-P-05

### **Geoelektrische Messungen und hydrogeologische Untersuchungen im Bereich einer Salzquelle bei Rotenburg an der Wümme**

**L. Huwatscheck<sup>1</sup>, N. Deus<sup>2</sup>, J. Elbracht<sup>2</sup>, M. Grinat<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Leibniz Universität Hannover, Hannover, <sup>2</sup>Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover, <sup>3</sup>Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover

Im Rahmen einer Masterarbeit im Studiengang Geowissenschaften an der Leibniz Universität Hannover, die in Zusammenarbeit mit dem Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) und dem Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) erstellt wurde, sind geoelektrische Messungen und hydrogeologische Untersuchungen im Bereich der Salzquelle Ahausen bei Rotenburg an der Wümme durchgeführt worden (Huwatscheck 2017). Die Salzquelle, die südlich der Wümme liegt, zeichnet sich durch erhöhte elektrische Leitfähigkeiten von mehreren tausend bis ca. 20.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  aus (Huwatscheck 2017). Ihre Versalzung wird auf Ablagungsprozesse an einem südlich gelegenen Salzstock zurückgeführt. Die in den Wasseranalysen ermittelte chemische Zusammensetzung stützt diese Vermutung (s. auch Brodehl 2016).

Zur Erkundung des Umfeldes der Salzquelle erfolgten sowohl gleichstromgeoelektrische Kartierungen (Wenner-Alpha-Elektrodenanordnung mit 5 m Elektrodenabstand) als auch geoelektrische Multielektrodenmessungen (Wenner-Alpha, Wenner-Beta und Dipol-Dipol mit minimalen Elektrodenabständen von 2 m bzw. 5 m). Letztere ermöglichen Aussagen bis in Tiefen von ca. 35 m unter Gelände. In den geoelektrischen Kartierungen zeichnet sich der Bereich eines künstlich angelegten Zulaufs zur Salzquelle durch erniedrigte spezifische elektrische Widerstände von maximal etwa 10  $\Omega\text{m}$  ab. Multielektrodenmessungen auf Profilen, die diesen Zulauf queren, zeigen eine deutliche Zweiteilung: Südlich des Zulaufs liegt die Oberkante des Bereichs mit niedrigen spezifischen Widerständen in Tiefen um 10 m und damit mehrere Meter tiefer als im Bereich zwischen Zulauf und Wümme; im Bereich des Zulaufs erreicht sie die Geländeoberfläche. Auf einem Profil nördlich der Wümme wurde die Oberkante dieses Bereichs wiederum in Tiefen um 10 m angetroffen. Ein Profil zwischen Zulauf und Wümme zeigt darüber hinaus, dass die Schicht mit erniedrigten spezifischen elektrischen Widerständen nach NE abtaucht. Der Bereich der Salzquelle und des Zulaufs, der eine geringere topographische Höhe als die Umgebung aufweist, führt somit zu einer Potentialentlastung, so dass mineralisiertes Wasser bis an die Geländeoberfläche ansteigen kann.

Brodehl, R. (2016): Hydrogeologie einer Salzquelle an der Wümme bei Rotenburg. – Masterarbeit, Leibniz Universität Hannover.

Huwatscheck, L. (2017): Hydrogeologische und geoelektrische Untersuchungen einer Salzquelle an der Wümme bei Rotenburg. – Masterarbeit, Leibniz Universität Hannover.

## **UI-P-06**

### **Umfahrung Bergheim - Geophysikalische Verfahren einer Tunneltrasse**

**A. Freudenthaler<sup>1</sup>, W. Chwatal<sup>1</sup>, A. Flores-Orozco<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Pöyry Infra GmbH, Wien, Österreich, <sup>2</sup>Technische Universität, Dep. Geodäsie und Geoinformation, Wien, Österreich

Für die geplante Umfahrung von Bergheim in Salzburg sollten die Untergrundverhältnisse im Bereich des geplanten Gitzentunnels abgeklärt werden. In Erkundungsbohrungen wurde das Auftreten von sehr weichen, vermutlich helvetischen Einheiten festgestellt, welche ein Risiko für den Tunnelbau darstellen. Vom geologischen Sachverständigen wurde ein geophysikalisches Erkundungsprogramm erarbeitet. Die Ziele der Untersuchung wurden durch die Geologie wie folgt vorgegeben, Verifizierung tektonischer Störungszonen, Charakterisierung der Flysch Einheiten wie Sandstein/Kalkmergel und Tonmergel, Verifizierung eventueller Moränenbedeckung und Hinweise zur Bergwasserführung. Die geophysikalische Untersuchung wurde mit seismischen und geoelektrischen Verfahren durchgeführt. Die Erkundungstiefe der seismischen Messungen sollte ca. 100-120 m, die der geoelektrischen Messungen ca. 50-60 m betragen.

PÖYRY wurde mit der Durchführung der seismischen und geoelektrischen Messungen für die Untersuchung des geplanten Straßentunnels beauftragt. Basierend auf den geophysikalischen Modellen wurde vom Auftraggeber ein ergänzendes Bohrprogramm ausgeführt, um erkannte geophysikalische Anomalien zu verifizieren und geologisch zu beschreiben.

Die beiden Verfahren lassen unabhängig voneinander eine eindeutige vertikale Zonierung des Flysches zu. So kann klar in Abschnitte mit Tonmergel im Flysch oder mit Sandstein/Kalkmergel im Flysch unterschieden werden. Die Reflexionsseismik zeigt, dass diese Abschnitte durch steil stehende Störungen getrennt werden und dass der Flysch erwartungsgemäß stark verschuppt und teilweise gefaltet ist. Tiefreichende Geschwindigkeitsanomalien werden als Zerrüttungszonen interpretiert, die bis in große Tiefen reichen. Hinweise auf Bergwasser können nur im Sandstein dominierten Flysch gefunden werden.

Überlagert wird der Flysch talseitig von dicht gelagerten und trockenen Lockergesteinen. Geoelektrische Anomalien weisen auf Moränenablagerungen hin. Bergseitig wird der Flysch von geringmächtigen Sedimenten überlagert bzw. geht teilweise bis zur Oberfläche, wo stellenweise eine bis zu 20m breite Übergangszone vorhanden ist.

Die seismischen und geoelektrischen Tiefenmodelle der Profile zeigen eine überzeugend deutliche Übereinstimmung und trotz geringer Parametervarianzen kann das Gebirge gegliedert und interpretiert werden. Das Erkundungsvorhaben stellt ein Referenzprojekt für die Erkundung im Flysch in Österreich dar.

## **UI-P-07**

### **Geophysikalische Untersuchungen am Vulkankomplex Rodderberg bei Bonn**

**M. Gürk, I. Muttaquien**

Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln, Köln

Der mittelpleistozäne Vulkankomplex des Rodderbergs südlich von Bonn steht derzeit im

Fokus für verschiedene Studien zur Klimageschichte. Sein zentraler Krater stellt eine bis heute geschlossene Hohlform dar, die noch fast vollständig von einem Wall aus Schlacken und Tephren umgeben ist. Die derzeit aktuelle Forschungsbohrung im Zentrum der Kaldera zeigt eine Abfolge von Sedimenten, Tuffe und Schlacken bis hinunter auf etwa 115 m Tiefe. Wir gehen von einer ausgesprochenen rotationssymmetrischen Verfüllung der Kaldera aus, die wir mit geophysikalischen Messungen belegen und studieren wollen. Hierzu benutzen wir vorhandene gravimetrische und magnetische Daten, die von uns digitalisiert und mit einem digitalen Höhenmodell verknüpft worden sind. Ein Hauptteil der Untersuchungen stellen Eigenpotential-, Radiomagnetotellurikmessungen (RMT), Schlumbergersondierungen und eine Bohrlochmessung im Vulkanzentrum dar. Aus dem vorhandenen Datensatz soll die Tiefenverteilung der elektrischen Leitfähigkeit abgeschätzt werden.

## **UI-P-08**

### **Alternative Imaging Conditions for Reverse Time Migration**

*I. Lima, M. Grohmann, E. Niederleithinger*

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

Non-Destructive Testing (NDT) comprehends a group of methods used to evaluate materials without damaging or altering them. In civil engineering, NDT can be used to investigate and monitor structures, such as roads and bridges. In this context, ultrasound echo-data is a widely used NDT technique for determining the internal geometry of structures, based on the reflection properties of ultrasound waves. Reverse-time migration (RTM) has been recently introduced to NDT applications, as an imaging method for ultrasound data, to overcome some of the limitations (e.g. imaging steeply dipping reflector) experienced by the Synthetic Aperture Focusing Technique, the most commonly used imaging algorithm for these measurements. The standard implementation of RTM also experiences some drawbacks caused by its imaging condition, which is based on the zero-lag of the cross-correlation between source and receiver wavefields and generates high-amplitude low-frequency artifacts. Three alternative imaging conditions, developed for seismic data applications, were tested for their ability to provide better images than the standard cross-correlation: illumination compensation, deconvolution and wavefield decomposition. A polyamide specimen was chosen for the simulation of a synthetic experiment and for real data acquisition. The migrations of both synthetic and real data were performed with the software Madagascar. The illumination imaging condition was able to reduce the low-frequency noise and had a good performance in terms of computing time. The deconvolution improved the resolution in the synthetic tests, but did not showed such benefit for the real experiments. Finally, as for the wavefield decomposition, although it presented some advantages in terms of attenuating the low-frequency noise and some unwanted reflections, it was not able to image the internal structure of the polyamide as well as the cross-correlation did. Suggestions on how to improve the cost-effectiveness of the implementation of the deconvolution and wavefield decomposition are presented, as well as possible investigations that could be carried out in the future, in order to obtain better results with those two imaging conditions.

## **UI-P-09**

### **Ableitung eines lateral variablen Geschwindigkeitsmodells mittels Noise-Interferometrie im ehemaligen Tagebau Schlabendorf Süd**

**F. Hlousek<sup>1</sup>, S. Buske<sup>1</sup>, W. Kudla<sup>2</sup>, B. Lucke<sup>3</sup>, J. Weißbach<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institut für Geophysik und Geoinformatik, TU Bergakademie, Freiberg, <sup>2</sup>Institut für Bergbau und Spezialtiefbau, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, <sup>3</sup>LMBV mbh, Senftenberg

Geotechnische Ereignisse im Bereich der Innenkippen des ehemaligen Lausitzer Braunkohletagebaus sind eine potentielle und immer wieder auftretende Gefahr. Die auftretenden Rutschungen und Geländeeinbrüche sind häufig die Folge von Bodenverflüssigungsvorgängen. Diese geotechnischen Ereignisse können seismisch registriert und basierend auf Oberflächenwellen lokalisiert werden. Für die Lokalisierung wird ein auf der Diffraktionssummation basierender Algorithmus verwendet, welchem eine Laufzeitberechnung von jedem Seismometerpunkt zu allen Punkten im Untersuchungsgebiet zugrunde liegt. Bisher wurden für diese Berechnung lediglich frequenzabhängige konstante Geschwindigkeiten verwendet. Räumliche Unterschiede in der Ausbreitungsgeschwindigkeit wurden bislang nicht berücksichtigt, da keine verlässlichen Informationen zur räumlichen Variation der Geschwindigkeiten vorlagen.

Um ein lateral variables Geschwindigkeitsmodell abzuleiten, wurde im Bereich des Tagebaus Schlabendorf Süd eine Noise-Interferometrie Messung mit 100 Dreikomponentensensoren durchgeführt, die in einem Umkreis von ca. 30 km um das Messgebiet über einen Zeitraum von 22 Tagen installiert waren. Aus diesen Daten ließen sich, für dominante Frequenzen im Rauschspektrum, Green'sche Funktionen für das Untersuchungsgebiet erzeugen und daraus ein lateral variables Geschwindigkeitsmodell invertieren, welches zum einen in Zukunft für eine verbesserte Lokalisierung verwendet werden kann und zum anderen eventuell auch Rückschlüsse auf den Verdichtungserfolg der Kippen erlauben wird.

## **UI-P-10**

### **Ultraschall-Oberflächenmessungen an Sandstein-Epitaphen des Merseburger Doms**

**T. Steinkraus<sup>1</sup>, T. Meier<sup>1</sup>, R. Sobott<sup>2</sup>, H. Hilbert<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Christian-Albrechts-Universität, Geowissenschaften, Kiel, <sup>2</sup>Labor für Bau- und Denkmalpflege, Naumburg

Der Merseburger Dom, gebaut 1015, ist eines der vollständigsten mittelalterlichen Baudenkmäler an der „Straße der Romantik“. In den Jahren 1510-1517 kam es zu einem Umbau im gotischen Stil durch Bischof Thilo von Trotha.

Zur Bestimmung verwitterungsbedingter Veränderungen an Sandstein-Epitaphen des Domes, wurden 95 Ultraschall-Oberflächenmessungen durchgeführt. Für die Messungen wurden mit einer manuellen Ankoppelvorrichtung Rayleighwellen in einem Geber-Nehmer-Abstand von 5-20 cm mit einem Inkrement von 1 cm pro Messung registriert. Die Anregungsfrequenz liegt dabei zwischen 10-300 kHz mit einer Hauptanregung bei 80 kHz und einer Abtastrate von 10 MHz.

Die gemessenen Oberflächenwellen-Geschwindigkeiten liegen in einem Bereich von 800-2000 m/s. Intakter Sandstein weist Werte um die 1500 m/s auf. Profile mit einer Krustenbildung weisen im Allgemeinen höhere Geschwindigkeiten auf, bedingt durch eine Auffüllung des Porenraumes mit Gips. Bei absandenden Bereichen und oberflächennahen Auflockerungen kann eine Verringerung der Geschwindigkeit beobachtet werden.

Zur Weiteren Untersuchung der Verwitterung wurde nach einem Jahr, sowie einem regnerischen Tag, 20 Wiederholungsmessungen durchgeführt. Die statistische Auswertung der Wiederholungsmessungen zeigt, dass der zufällige Fehler der Rayleighwellen-Geschwindigkeiten <3% ist. Die Wiederholungsmessung zeigt eine Abnahme der Geschwindigkeit um bis zu 20% an stark verwitterten Sandstein-Epitaphen, was auf eine fortschreitende Verwitterung hindeutet. An Krusten wird eine Zunahme der Geschwindigkeit um bis zu 7% innerhalb eines Tages beobachtet, was auf einen Zusammenhang mit einem Feuchtigkeitseintrag hindeutet. Zur Bestimmung eines 1D-Geschwindigkeits-Tiefen-Profiles werden Inversionen ausgewählter Wiederholungsmessungen durchgeführt.

## **UI-P-11**

### **Thermographische Untersuchungen am Merseburger und Schleswiger Dom**

***Y. Esefl<sup>1</sup>, E. Erkul<sup>1</sup>, D. Schulte-Kortnack<sup>1</sup>, T. Steinkraus<sup>1</sup>, M. Tesch<sup>1</sup>, R. Sobott<sup>2</sup>, C. Leonhardt<sup>3</sup>, J. Heller<sup>3</sup>, T. Meier<sup>1</sup>***

<sup>1</sup>Christan-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften Abteilung Geophysik, Kiel, <sup>2</sup>Labor für Bau- und Denkmalpflege, Naumburg, <sup>3</sup>Werkstatt für Kunst und Denkmalpflege GbR, Kiel

Mit passiver und aktiver Thermographie können berührungslose Wärmequellen und Wärmebrücken, Schäden an der Bausubstanz sowie Feuchtigkeitseinträge detektiert werden. Weiterhin kann die Struktur historischer Mauerwerke sichtbar gemacht werden.

Die passive Thermographie bewertet hierbei die auf der Oberfläche natürlich vorhandenen Temperaturunterschiede. Ergänzend zu dieser Methode wird mit aktiver Thermographie die Abkühlung nach künstlicher Erwärmung untersucht. Sie bietet die Möglichkeit, den Temperaturverlauf quantitativ zu analysieren, um zu Aussagen über die Temperaturleitfähigkeit des untersuchten Objekts zu kommen.

Die Messdauer der einzelnen Aufnahmen liegt in einem Bereich von 10 Minuten und bis zu 12 Stunden bei einer Abtastrate von einem bis sechs Bildern pro Minute.

Die Auswertungen der passiven Messungen am Merseburger Dom zeigen, dass eine Lokalisierung und Visualisierung unbekannter Strukturen unterhalb des Mauerputzes sowie die Detektion von Ablösungen möglich ist. Die Standardabweichung zeigt Variationen, die durch Inhomogenitäten an den Messflächen resultieren.

In den aktiven Messungen deuten sich beispielsweise durch Feuchtigkeit verursachte Temperaturabnahmen an.

Die aktiven Messungen an Sandsteinepitaphen in Merseburg geben Rückschlüsse über den Verwitterungszustand und Informationen über mögliche, vorzeitige Abschaltungen. Sie zeigen, dass der Verwitterungszustand des Sandsteins berührungslos analysiert werden kann. Weiterhin ist eine Tiefenabhängigkeit der Temperaturleitfähigkeit erkennbar.



Am Schleswiger Dom wurden mittelalterliche Wandmalereien vor und nach der Restaurierung untersucht.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass sich die Methode der aktiven und passiven Thermographie zur Bewertung des oberflächennahen Zustandes von klein- (aktiven Messungen) bzw. auch großflächigen Bereichen (passiven Messungen) herangezogen werden kann.

## **UI-P-12**

### **Das Erdfallgebiet Münsterdorf in Schleswig-Holstein: Vergleichende Untersuchungen mit dem 3D-Georadar-System MALÅ MIRA**

**S. L. Fischer<sup>1</sup>, E. Erku<sup>1</sup>, R. Kirsch<sup>2</sup>, W. Rabbel<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Geowissenschaften, Kiel, <sup>2</sup>GEOimpulse, Kiel

In dem Gebiet rund um den Fußballplatz von Münsterdorf im südwestlichen Schleswig-Holstein treten seit 2004 vermehrt Erdfälle auf. Ihre Durchmesser und Tiefen variieren dabei zwischen zwei und fünf Metern. Auch wegen ihres plötzlichen Auftretens stellen die Erdfälle ein hohes Risiko für die Infrastruktur in der Region dar. Auf dem Sportplatz von Münsterdorf wurden an zwei Tagen im Juli 2017 hochauflösende 3D-Georadarmessungen mit dem MIRA-System von MALÅ Geosciences bei einer Mittenfrequenz von 400 MHz durchgeführt. Das System verfügt über 17 Antennen, bei denen es sich um neun Transmitter und acht Receiver handelt. Auf diese Weise können 16 Kanäle mit einem Abstand von 8 cm über eine Profildbreite von 1,20 m gleichzeitig gemessen werden. Der resultierende 3D-Datensatz wurde mit der darauf spezialisierten Software rSlicer prozessiert. Das Ergebnis wurde mit vorangegangenen Rammkernbohrungen und niederfrequenteren 2D-Radarmessungen (200 MHz) aus dem Jahr 2014 verglichen. Es wurden sowohl Vor- als auch Nachteile der Untersuchungen mit dem MIRA-System für die vorliegende Fragestellung diskutiert. Mit den hochauflösenden MIRA-Messungen konnten im südlichen Halbkreis des Sportplatzes zahlreiche Anomalien ausgemacht werden, deren Strukturen denen der Erdfälle von 2010 und 2016 ähneln. Sie liegen zusammen mit allen seit 2004 beobachteten Erdfällen auf einem Streifen mit einer Orientierung von West-Süd-West nach Ost-Nord-Ost. Die Frage, wodurch die Anomalien hervorgerufen werden, konnte nicht abschließend geklärt werden. Vermutlich handelt es sich bei ihnen um Erdfälle aus der Vergangenheit. Es sind weitere Studien wie z.B. Rammkernbohrungen, geoelektrische Untersuchungen und niederfrequenter Radarmessungen nötig, um diese Hypothese zu überprüfen.

## **UI-P-13**

### **Bestimmung elektromagnetischer Bodenparameter und Pedotransferfunktionen des Geomodells mit Hilfe von Georadar, Geoelektrik und Labormessungen**

**C. Reimers, E. Erku, S. Attia al Hagrey, W. Rabbel**

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Geowissenschaften, Kiel

Der geologische Untergrund ermöglicht in oberflächennahen und tieferen Gesteinsschichten die Speicherung von Energie, um in der Zukunft eine sichere Energiebereitstellung zu

gewährleisten. Vor der Erprobung in Feldmessungen sind Experimente notwendig, um die Chancen und Grenzen dieser Speicherung abschätzen zu können. Zur Durchführung geothermischer Versuche wurde im Rahmen des Angus II Forschungsprojektes ein künstlich angelegter und idealisierter Sandkörper, das Geomodell, welches sich auf dem Gelände der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel befindet, verwendet. In dieser Bachelorarbeit wurde der jetzige Zustand des Geomodells (5 m x 3 m x 2 m) mit den geophysikalischen Methoden Georadar und Geoelektrik untersucht und mit Labormessungen verifiziert. Letztere dienen zur Abschätzung des Verhaltens des Geomodells bei den künftigen Experimenten. Das Ziel besteht darin die räumliche Variation der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Radarwellen und die Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstandes zu ermitteln sowie Zusammenhänge zwischen geophysikalischen Eigenschaften und Bodenparametern abzuleiten. Trockener Sand besitzt im Vergleich zu wassergesättigten Sand eine höhere Ausbreitungsgeschwindigkeit und einen höheren spezifischen elektrischen Widerstand. Dieser nimmt mit ansteigendem Wasser- und Salzgehalt, zunehmender Temperatur und Porosität ab. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit nimmt bei einer Zunahme des Wassergehaltes ab. Im Geomodell nimmt die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen von der Oberfläche mit 16 - 18 cm/ns bis zum Boden auf 13 - 15 cm/ns ab. Die relative Permittivität steigt von 3 - 4 auf 4 - 5 an. Der spezifische elektrische Widerstand sinkt von etwa 1600  $\Omega\text{m}$  auf ca. 500  $\Omega\text{m}$ . Im Labor wurden Sandproben aus dem Geomodell zu verschiedenen Wassergehalten mit Georadar und Geoelektrik untersucht, um die Ausbreitungsgeschwindigkeiten und elektrischen Widerstände zu bestimmen. Dabei wurden auch Pedotransferfunktionen nach der Complex Refractive Index Model-Gleichung und dem Gesetz von Archie bestimmt. Eine erste Bohrung im Geomodell zeigte, dass die ersten oberflächennahen 30 cm sehr trocken sowie kompaktiert sind und danach feuchtere Schichten folgen. Zur Verifikation der Ergebnisse sind weitere Messungen und eine Kernbohrung geplant, um in situ-Informationen mit geophysikalischen Ergebnissen aus größeren Tiefen zu vergleichen.

## **UI-P-14**

### **Oberflächennahe geophysikalische Untersuchungen des Aufbaus der Verwitterungszone im Hochschwarzwald**

**B. Preugschat<sup>1,2</sup>, M. Stiller<sup>1</sup>, A. Rohlf<sup>2</sup>, D. Uhlig<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam,

<sup>2</sup>Fachgebiet Angewandte Geophysik, Technische Universität Berlin, Berlin

Im Rahmen des Projekts "WeatherSeis", einer Kooperation der GFZ-Sektionen 2.2 (Geophysikalische Tiefensondierung), 2.7 (Oberflächennahe Geophysik) und 3.4 (Oberflächennahe Geochemie), wurden an ausgewählten Waldschadens-Standorten im Schwarzwald und im Bayerischen Wald oberflächennahe, geophysikalische Messungen zur Charakterisierung des Aufbaus der Verwitterungszone durchgeführt. Ziel der geophysikalischen Erkundungskampagnen ist die Entwicklung von alternativen Methoden zur hochauflösenden Untersuchung der Verwitterungszone - speziell an den Untersuchungsstandorten - bis in eine Tiefe von ca. 50 m. Hierbei sollen insbesondere die räumliche Struktur, Zonierung und die physikalisch-chemischen Eigenschaften bestimmt werden. Die Kenntnis über diese Parameter ermöglicht es, repräsentative

Schlussfolgerungen auf hydrogeologische, rheologische, petrophysikalische und mineralogische Kontrollfaktoren der Verwitterung und des Wasserhaushalts zu ziehen.

Im ersten Teil des Projekts wurden im Schwarzwald längs von vier hangparallelen Profilen mit unterschiedlichen Höhengniveaus aktive seismische 2D-Messungen durchgeführt. Auf den jeweils 240 m langen Linien befanden sich die Geophone in 1 m Abständen. Als seismische Quellen dienten ein beschleunigtes Fallgewicht (P), ein Minivibrator (P und S) sowie horizontale Hammerschläge (S), mit denen jeweils im 3 m Abstand angeregt wurde. Parallel zu den seismischen Profilen wurden geoelektrische Messungen (Gleichstromgeoelektrik) durchgeführt.

Durch die gewählte Messkonfiguration der seismischen Experimente können die Datensätze nach unterschiedlichen Methoden ausgewertet werden. In der aktuellen Phase der Datenauswertung soll der Fokus insbesondere auf der Auswertung der Tauchwellen-Tomografie liegen. Dabei sollen die Ergebnisse der Datenprozessierung von P- und S-Quellen vergleichend bewertet werden. Checkerboard-Tests sollen Aufschluss über das Auflösungsvermögen der Tomografien geben.

Die Ergebnisse aus den Tauchwellen- und den geoelektrischen Tomografien sollen verwendet werden, um verbesserte Untergrundmodelle zu entwickeln und petrophysikalische sowie hydrogeologische Eigenschaften abzuschätzen.

Zur Validierung und Kalibrierung stehen im Untersuchungsgebiet zwei abgeteufte Kernbohrungen zur Verfügung. Alle gewonnenen Datensätze werden zunächst individuell ausgewertet und anschließend kombiniert.

## **UI-P-15**

### **New advances in mining seismology: A rock failure study using seismic events with $M < -3$**

***K. Plenkers, J. Philipp, T. Fischer, D. Dörner***

GMuG - Gesellschaft für Geophysik und Materialprüfung mbH, Bad Nauheim

The benefits of In-situ Acoustic Emission (AE) Monitoring was demonstrated in recent years in diverse projects in mines. Aspects like rock failure, cavity stability or hydro-fracturing could be recorded in great detail. New studies of Moriya et al 2015 and Naoi et al 2016 demonstrate the potential of In-situ AE monitoring in fault zone and shear zone mapping in advance of the mining stope. In this study we apply In-situ AE monitoring to a detailed rock failure study of a South African mine.

In-situ AE Monitoring allows recording (induced) seismicity in mines and underground laboratories significantly below the micro-seismicity scale by extending passive seismic monitoring to the frequency range 1000 Hz to 100 kHz. Seismic events with magnitudes  $M_w < -4$  are recorded (Kwiatek et al. 2011). In this study we use AE events to gather further knowledge on two microseismic events of  $ML = 0.4$  and  $ML = 0.5$ , which occurred at  $\sim 3.2$  km depth at the stope level in order to gain in-depth knowledge on the failure process. Several thousand AE events were recorded by a local In-situ AE monitoring network.

AE event re-localization using Hypo-DD reveals the rupture area and refines the

microseismic event hypocenter location significantly. Focal mechanism analysis shows a normal faulting structure and reveals information on local stress re-distribution. Finally, AE events before and after the mainshock demonstrate the temporal evolution and show interaction of seismic activity and mine development.

We conclude that In-situ AE monitoring is a valuable tool to refine the location of microseismic events, the orientation of the rupture plane and the temporal evolution of the rock failure in sensitive areas, where uncertainties in information provided by standard in-mine geophone networks are too large to be trustworthy.

## **UI-P-16**

### **Untersuchung der Verwitterung eines Sandstein-Epitaphen am Merseburger Dom mittels Inversion von Ultraschallwellenformen**

***T. Steinkraus, T. Meier***

Christian-Albrechts-Universität, Geowissenschaften, Kiel

Der Merseburger Dom, gebaut 1015, ist eines der vollständigsten mittelalterlichen Baudenkmäler an der „Straße der Romantik“. In den Jahren 1510-1517 kam es zu einem Umbau im gotischen Stil durch Bischof Thilo von Trotha.

Zur Bestimmung verwitterungsbedingter Veränderungen an Sandstein-Epitaphen des Domes, wurden 95 Ultraschall-Oberflächenmessungen durchgeführt. Bei 20 dieser Messungen handelt es sich um Wiederholungsmessungen nach einem Jahr. Für die Untersuchungen wurden mit einer manuellen Ankoppelvorrichtung Rayleighwellen in einem Geber-Nehmer-Abstand von 5-20 cm mit einem Inkrement von 1 cm pro Messung registriert. Die Anregungsfrequenz liegt dabei zwischen 10-300 kHz mit einer Hauptanregung bei 80 kHz und einer Abtastrate von 10 MHz.

Zur weiterführenden Analyse der Wiederholungsmessungen wurde ein Profil mit einer schwarzen Kruste ausgewählt, welches eine deutliche optische Änderung nach einem Jahr aufgewiesen hat. Untersuchungen der Rayleighwellen-Geschwindigkeit zeigen eine Zunahme um 8%. Zusätzlich hat die Dämpfung stark abgenommen. Die gemittelten Gruppengeschwindigkeiten weisen eine Zunahme im Frequenzbereich von 10-120 kHz sowie eine anormale Dispersion auf. Zur Bestimmung eines 1D-Tiefenverlaufs der Scherwellen-Geschwindigkeit wurde mittels Partikelschwarmoptimierung ein quasi-viskoelastisches Modell unter Berücksichtigung eines tiefenunabhängigen Qualitätsfaktors der Dämpfung berechnet. Für die Modellanpassung wurde sowohl die Wellenform im Zeitbereich als auch die Gruppenlaufzeit im Frequenzbereich genutzt. Der Vergleich der Modelle zeigt eine Homogenisierung des Untergrundes, durch Zunahme der Scherwellengeschwindigkeiten in der Tiefe um 200 m/s und eine starke Abnahme der Dämpfung. Dies weist auf eine fortschreitende Krustenbildung mit zunehmender Mächtigkeit innerhalb eines Jahres hin.

## UI-P-17

### **A multi-method geophysical approach for dam stability assessment and reservoir characterisation at Pļaviņas hydro power plant in Latvia**

**A. Eifert<sup>1</sup>, F. Oestmann<sup>1</sup>, H. Poelz<sup>2</sup>, C. Richter<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Fugro Germany, Berlin, <sup>2</sup>Fugro Austria, Bruck an der Mur, Austria

We present a multi-method approach for dam stability assessment and reservoir characterisation at the Pļaviņas hydro power plant. The land-based investigation incorporated P- and S-wave surface vibration seismics, P- and S-wave crosshole tomography, electrical resistivity tomography, borehole TV and gyroscopic borehole deviation logging. The measurements allowed us to assess the structural situation of the subsurface and detect several weak zones possibly related to observed sediment discharge in the existing relief wells on the right bank of the Daugava river.

Simultaneously, a river-based investigation using Fugro's WAGEO technique was carried out, i.e. the application and joint interpretation of parametric sediment echo sounding, side scan sonar, electrical resistivity tomography, seepage hammer core and side marker sampling and measurements of water characteristics like salinity and temperature. The river bed itself as well as the spatial distribution and continuity of hydraulic parameters of its upper ground layers were mapped and indications of water exchange between the reservoir and the river bed were detected.

The geophysical investigation hence led to an overall better understanding of the geological and hydrological context up- and downstream of the Pļaviņas hydro power plant and supports the installation of new relief well(s) on the right bank.

## UI-P-18

### **Begleitende geophysikalische Messungen zu verschiedenen geologischen Fragestellungen im Tunnel Feuerbach, Stuttgart 21**

**W. Chwatal<sup>1</sup>, D. Kostial<sup>1</sup>, A. Flores-Orozco<sup>2</sup>, T. Preuth<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Pöyry Infra GmbH, Wien, Österreich, <sup>2</sup>Technische Universität, Dep. Geodäsie und Geoinformation, Wien, Österreich, <sup>3</sup>Pöyry Deutschland GmbH, Stuttgart

Im Tunnel Feuerbach des Großprojektes Stuttgart 21 liegen beide Tunnelröhren in der geologischen Einheit des Gipskeupers. Dieser besteht aus einer Abfolge von Tonsteinen und Tonmergeln mit bis zu 70% Anteiligen Gips- und Anhydriteinlagerungen, die im Bereich der Tunnel grossteils horizontal gelagert sind. Durch den Einfluss des Grundwassers können diese Einlagerungen vollständig verändert werden, was Auslaugung und Entfestigung des Gebirges bewirkt und den Tunnelvortrieb stark beeinflusst.

In einer Testmessung, in der verschiedene geophysikalische Methoden hinsichtlich ihrer Aussagekräftigkeit zur Stratigraphie des Gebirges und dessen Auslaugung geprüft wurden, erwiesen sich vor allem die seismischen und geoelektrischen Methoden dazu geeignet, diese geologischen Fragestellungen zu beantworten.

Daher wird Stollenseismik und -geoelektrik, überwiegend in der Firste und an der Sohle, zur Erkundung der Gebirgsverhältnisse entlang der Tunnelröhren und vor der Ortsbrust vortriebsbegleitend ausgeführt. Auch fanden Messungen an der, zur nachlaufenden

Tunnelröhre gerichteten, Ulme statt, um eine Vorschau der zukünftig aufzufahrenden Gebirgsverhältnisse zu liefern.

Die Ergebnisse der Seismik liefern hauptsächlich Informationen über die Festigkeit und Auslaugungsgrades des Gebirges. Des Weiteren zeigt sich, dass die maßgeblichen stratigraphischen Einheiten, die Grenzen zwischen ausgelauten und unausgelauten Gebirge und größere Störungen deutlich erkennbar sind.

Die Ergebnisse der Geoelektrik sollten Informationen über den Tongehalt, Gipsgehalt, Auslaugungsgrad und Wasserführung im Gebirge liefern. Der spezifische elektrische Widerstand hängt im Wesentlichen vom Ton- bzw. Gipsgehalt ab und sollte daher Hinweise auf den Auslaugungsgrad des Gebirges geben. Die Polarisierbarkeit (IP-Effekt) ist dafür sehr stark vom Wasseranteil im Gebirge abhängig. Die geoelektrischen Ergebnisse zeigen aber, dass deren Aussagekraft und Korrelation mit den geotechnischen Daten nicht immer eindeutig ist. Ein wesentlicher Grund dafür ist, dass die geoelektrischen Messungen stark von den metallischen Einbauten in den Tunnelröhren beeinflusst werden. Insgesamt münden die Ergebnisse beider Methoden in einer Interpretation des Auslaugungsgrades und der Lage geologischer Schichten, die im Wesentlichen mit den Informationen aus den Ortsbrustaufnahmen und den nachlaufenden Sohl- und Firstbohrungen übereinstimmt.

## **UI-P-19**

### **Aktive Tektonik am Plöner See (Schleswig-Holstein)?**

***M. Thorwart, W. Rabbel, E. Erkul***

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut f. Geowissenschaften, Kiel

Östlich des Plöner Sees (Schleswig-Holstein) befindet sich in der glazial geprägten Moränenlandschaft nahe der Ortschaft Kleinneudorf eine auffällig steile, ca. 10 m tiefe Bodensenke am Südenende einer topographischen Rinne. In der Senke liegt ein kleiner See. Die Rinne befindet sich im Bereich der nördlichen Verlängerung der Bad Segeberger Salzmauer. Berichten von Anwohnern zufolge soll sich in den letzten Jahrzehnten die Senke sichtbar vertieft haben, und die Flanken der Rinne sollen steiler geworden sein. Daher wird vermutet, dass die Senke eine tektonisch aktive Struktur darstellt.

Im Jahr 2003 wurde im Auftrag der Universität Mainz ein 1.3 km langes seismisches P-Wellen-Profil über die Senke gelegt, und 2007 wurde eine 64 m tiefe Bohrung am Rand der Senke abgeteuft. Jedoch konnte die Ursache der topographischen Veränderungen nicht geklärt werden. Daher wurden im April 2017 durch die Universität Kiel geoelektrische und seismische Profile mit P- und SH-Wellen gemessen, um die oberflächennahe Untergrundstruktur der Senke in höherer Auflösung zu erkunden. Nach den aktiven Messungen wurden 20 Drei-Komponenten-Seismometer (4.5Hz Geophone mit DataCube) für 8 Tage innerhalb eines Radius von 100m um die Senke aufgestellt. In den seismischen Profilen zeichnet sich weiterhin keine offensichtliche Verwerfung ab. Die wassergefüllte Senke kennzeichnet sich durch niedrige S-Wellengeschwindigkeiten (100m/s) und spezifische elektrische Widerstände um 100 Ohm-m aus. Dies entspricht einer Grobsandeinheit, die in der früheren Bohrung angetroffen wurde. Direkt unterhalb der Senke wurde ein abgegrenzter Körper erhöhter seismischer

Geschwindigkeit und erhöhter Leitfähigkeit gefunden, der mit einer Geschiebemergleinheit im Bohrloch korreliert. Diese Einheit umfasst die ganze Senke und könnte dadurch das Versickern des Wassers verhindern. Nordöstlich unmittelbar angrenzend findet man einen ausgedehnten hochohmigen (1000 Ohm-m) Körper, dessen Unterkante in der Seismik sichtbar ist. Hierbei dürfte es sich um eine Sandereinheit handeln. Auf den 20 seismischen Stationen wurden innerhalb der 8 Messtage zahlreiche seismische Ereignisse registriert, deren Quellen im Bereich der wassergefüllten Senke lokalisiert werden konnten. Die Ursache der Mini-Events wird derzeit untersucht.

Das Projekt ANGUS II wird im Rahmen der Forschungsinitiative Energiespeicher gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) unter dem Förderkennzeichen 03ET6122A.

## **UI-P-20**

### **Wirkung von Porositätsänderungen auf die komplexe elektrische Leitfähigkeit von Lockersedimenten**

*D. Branka, C. Rücker, F. Börner*

TU Berlin, Berlin

Bestimmung und Monitoring schwacher Porositätsänderungen sind von Interesse für die Überwachung geotechnischer Prozesse wie z.B. der Verdichtung von Baugrund oder der Stabilisierung bergbaubedingter Ablagerungen. Die elektrische Leitfähigkeit ist bekanntermaßen ein geeigneter Parameter zur Porenraumcharakterisierung.

In feinkörnigen Sedimenten und bei geringen Porenwasserleitfähigkeiten werden die Ergebnisse aufgrund der nicht mehr vernachlässigbaren Grenzflächenleitfähigkeit jedoch oft verfälscht. Eine Möglichkeit den Effekt dieser zusätzlichen Leitfähigkeitskomponente zu berücksichtigen, ist die Nutzung der komplexen elektrischen Leitfähigkeit.

Wir zeigen Ergebnisse von Feld- und Labormessungen der komplexen elektrischen Leitfähigkeit im Frequenzbereich 10 mHz bis 1 kHz mit dem Ziel der Quantifizierung einer Porositätsabnahme speziell in schluffigen und tonigen Sanden. Eine stufenweise Verdichtung der Proben im Labor wurde mit einer speziellen Messzelle über eine druckabhängige Volumenabnahme kontrolliert. Die Porositätsabnahme war in der Größenordnung von 10% wobei die Porenwasserleitfähigkeit der vollgesättigten Proben während der Verdichtung als konstant angenommen wurde. Die Feldmessungen wurden als 1D Schlumberger Sondierungen vor und nach einer Sprengverdichtung auf einem Tagebauabraumgebiet durchgeführt.

Die komplexe Leitfähigkeit der jeweiligen Messungen zeigen bei abnehmender Porosität zwei gegenläufige Effekte:

(1) Der Realteil nimmt erwartungsgemäß ab infolge der Dominanz des Archie-Gesetzes.

(2) Der Imaginärteil erhöht sich aufgrund des Anstiegs der Grenzflächenleitfähigkeit.

Wir zeigen ein komplexes Leitfähigkeitsmodell, mit dem das gegenläufige Verhalten beider Leitfähigkeitskomponenten mit abnehmender Porosität erklärt werden kann.

Der überraschende Anstieg des Imaginärteils mit abnehmender Porosität wird durch den Anstieg des Oberfläche-zu-Porositätsverhältnisses und der für Lockersedimente spezifischen Porenraumstruktur erklärt. Wird der Grenzflächenleitfähigkeitseffekt ignoriert, ist die abgeleitete Porositätsreduktion zu gering oder nicht feststellbar. Der vorgeschlagene

Interpretationsalgorithmus ermöglicht die Bestimmung von Porositätsänderungen in tonigen und schluffigen Sedimenten in Bezug zu einer Referenzmessung ohne Kenntnis weiterer lithologischer Parameter wie z.B. Tonmineralgehalt, Kornverteilung oder Kationenaustauschkapazität.

## VU Vulkanologie Vorträge

### VU-01

#### **Transient electromagnetic measurements using a floating setup on the volcanic lake “Lagoa das Furnas”, São Miguel (Azores): Investigation of the hydrothermal system**

***M. Küpper<sup>1</sup>, P. Yogeshwar<sup>1</sup>, B. Tezkan<sup>1</sup>, V. Rath<sup>2</sup>, D. Kiyani<sup>2</sup>, C. Hogg<sup>2</sup>, S. Byrdina<sup>3</sup>, J. V. Cruz<sup>4</sup>, F. Viveiros<sup>4</sup>, C. Andrade<sup>4</sup>, R. Branco<sup>4</sup>***

<sup>1</sup>Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie, Köln, <sup>2</sup>Dublin Institut for advanced studies, Dublin, Ireland, <sup>3</sup>Université Savoie Mont Blanc, ISTERre, Chambéry, France, <sup>4</sup>Universidade dos Açores, Ponta Delgada, Portugal

The Furnas Volcano is located in the eastern part of São Miguel island (Azores). Volcanic activity is nowadays mostly prominent in the northern part of the caldera, where fumarolic fields, thermal springs and intense CO<sub>2</sub> outgassing are the main hydrothermal manifestations. As there were no previous geophysical measurements conducted on the lake, the structures below the lake as well as the extent of the hydrothermal system were unknown. For measurements on lakes a floating TEM setup was developed consisting of a frame of plastic drain pipes, composing an in-loop configuration. While on water the pipe construction is pulled by a boat also containing the measurement equipment. During the field survey 52 stations were measured while the boat and the pipe construction were anchored on the lake. As the anchor process is time consuming and only possible with good wind conditions, additionally on 20 profile lines mobile measurements were conducted in the Nano-TEM modus while the boat was slowly pulling the device across the lake. This mobile measurements are a new approach for TEM surveys on water, that proved to be a success. It was achieved to collect a large and very dense data set during the three week survey, consisting of more than 650 TEM stations on the lake and 6 land side reference stations. The data is inverted one-dimensionally as well as laterally and spatially constrained. The results show a well conducting anomaly in approximately 50 m below the water level in the northern part of the lake, that correlates well to the already known CO<sub>2</sub> outgassing anomalies and the hydrothermal system. This well conducting structure is interpreted as a shallow aquifer that feeds the surface hydrothermal manifestations.



## VU-02

### **Analysis of volcano-related seismicity around Fogo and Brava, Cape Verde, by (multi-)array techniques**

***C. Leva<sup>1</sup>, F. Link<sup>1</sup>, G. Rümpler<sup>1</sup>, I. Wölbern<sup>1</sup>, B. Faria<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>Goethe-University Frankfurt, Institute of Geosciences, Frankfurt,

<sup>2</sup>National Institute of Meteorology and Geophysics, Mindelo, Cape Verde

The Cape Verde archipelago is believed to originate from a mantle plume beneath an almost stationary tectonic plate. Fogo and Brava are located in the south-western part of the archipelago, about 18 km apart from each other and belong to the younger islands. Only Fogo experienced historic eruptions and has an eruption interval of about 20 years, with the last eruption from Nov. 2014 to Feb. 2015.

Previous studies, using seismic stations distributed on the islands, have indicated relatively high seismic activity in the vicinity of Brava. Based on these findings, a possible link of the plumbing system of Fogo to a magmatic source near Brava has been proposed. More recently, a “seismic crisis” on Brava led to the evacuation of a village during Aug. 2016.

We aim to investigate the magmatic system of Fogo and to characterize the seismic activity of this region. As the majority of the seismic events are located offshore, we decided to use multi-array techniques to perform the investigations. Furthermore, many volcano-related seismic signals lack a clear onset of phases, such that array methods may be more suitable to locate their origin.

In Oct. 2015 we first deployed a seismic array on Fogo. The circular array consists of 10 stations with an aperture of 700m. Additionally, we set up three broadband-stations across the island in Jan. 2016.

Since Jan. 2017 we operate three similar arrays, two on Fogo and one on Brava, complemented by 7 single short-period stations on both islands.

To localize earthquakes, we apply a time-domain array analysis, combined with a distance estimation from travel-time differences between S- and P-wave arrivals. With this method, 276 earthquakes were located near Brava in 2016. 25 of the events occurred during the “seismic crisis” on Brava from Aug. 1-2, 2016. The seismicity beneath Brava remained at a high level in the following months. The temporal evolution of these earthquakes, as well as their locations and magnitudes will be presented.

Additionally, we recorded a swarm of earthquakes beneath Fogo. We analyzed 13 events of this cluster located beneath southern Fogo at a depth of about 40 km. Results from our receiver-function analysis show that the Moho discontinuity is located at a depth of about 11 km. This indicates that the deep earthquakes occur well within the upper mantle. We ascribe these events to a magma related origin, which in turn questions the hypothesis of a link between the magma supply systems of Fogo and Brava.

## VU-03

### **Deep long-period earthquakes beneath Laacher See Volcano (Eifel, Germany)**

***M. Hensch<sup>1</sup>, B. Schmidt<sup>2</sup>, S. Heimann<sup>3</sup>, T. Dahm<sup>3</sup>, J. Ritter<sup>4</sup>, S. Stange<sup>1</sup>, F.-A. Rodler<sup>1</sup>, K. Lehmann<sup>5</sup>***

<sup>1</sup>Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Landeserdbebendienst Baden-Württemberg, Freiburg, <sup>2</sup>Landesamt für Geologie und Bergbau, Landeserdbebendienst Rheinland-Pfalz, Mainz, <sup>3</sup>GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, <sup>4</sup>Karlsruhe Institute of Technologie, Karlsruhe, <sup>5</sup>Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen, Landeserdbebendienst, Krefeld

The improvement of the seismic network in the Eastern Eifel Region and the Neuwied Basin (Rhineland-Palatinate, Germany) significantly lowered detection thresholds and enhanced location accuracies of microseismic earthquakes. In addition to the previously known shallow seismic activity on the Ochtendung Lineament south-east of Laacher See Volcano, a first observation of long-period deep earthquakes (LP-events) beneath the southern flank of the volcano was made in September 2013, when two events occurred in the upper mantle at around 40 km depth (ML=0.7-0.9). In early June 2017 a series of around 50 LP-events was detected at 20-25 km depth (magnitudes up to ML=1.3). The most recent observation of deep seismicity so far was made in October 2017, when four events occurred within less than one minute at around 35 km depth (ML=0.8-1.1).

The most prominent deep cluster in June 2017 was subsequently followed by a sequence of around 100 shallow high-frequent microseismic earthquakes at 4-10 km depth (ML<0.8) west of Laacher See Volcano. This sequence gradually decayed towards the end of June, but occasional events were still observed until October 2017. In contrast to the high-frequent signals of the shallow earthquakes on the Ochtendung Lineament and the cluster west of Laacher See Volcano, all three clusters of deep earthquakes were characterised by emergent P-wave onsets and unusually low frequencies (1 to 4 Hz). Further, these earthquakes tend to occur in pulses of several events within a few minutes, separated by periods of quiescence of several hours during the June 2017 cluster. Comparable signals have been found in the visco-elastic lower crust and upper mantle of various volcanically active regions, such as Kamtchatka, Iceland or Kongo, and are interpreted as induced by magma or fluid movements. Most likely, such episodes of deep LP-events occurred before the improvement of the seismic network in the Eastern Eifel volcanic field, but could neither be detected nor sufficiently located until a few years ago.

The presentation summarises the overall seismic activity in the Eastern Eifel Region, with a special focus on the deep earthquake clusters and the accompanying shallow seismicity west of Laacher See Volcano in June 2017. Potential triggering mechanisms of deep LP-earthquakes are discussed in context with the spatial and temporal evolution of the events, as well as preliminary moment tensor solutions.

## Autorenindex

(Fett markiert = Erstautor/innen)

### A

Abdelfettah, Y. EM-1-04  
Abe, S. GT-04, GT-P-02  
Ader, C. **S1-03**  
Al-Saadi, O.S. **AG-2-01**  
Alber, M. GT-P-01  
Alcantara, L. SM-2-02  
Aleardi, M. DL-P-09  
Alexandrakis, C. SO-P-04  
Alipour-Asll, M. GE-P-02  
Allroggen, N. **S3-P-02**  
AlpArray, W.G. SO5-01  
Amtmann, J. **SM-1-03**  
Anderson Stamnes, A. AG-2-04  
Andrade, C. VU-01  
Arab-Amiri, A.R. GE-P-02  
Aranda, G. SO2-02  
Arnasson, K. EM-1-04  
Arnous, A. SO2-02  
Attia al Hagrey, S. UI-P-13

### B

Baker, S. S3-P-02  
Bammann, U. BL-05  
Barckhausen, U. **MG-01**, MG-P-03  
Barrientos, S. GD-01  
Bauer, A. **SM-2-03**  
Bauer, K. **SM-2-06**, SM-P-11  
Bauernhofer, T.H. UI-P-02  
Becken, M. AG-2-01, DL-P-10, EM-2-01  
Becker, D. SO-P-17, **SO-P-18**  
Bedford, J. GD-01  
Behrens, U. BL-05  
Bergers, R. GE-P-05  
Bertani, R. SM-P-08  
Bertram, M. SM-2-05

Besser, B.  
Bickert, T.  
Bindi, D.  
Birnstengel, S.  
Blanke, A.  
Blechta, J.  
Bleibinhaus, F.  
Bodenburg, S. B.  
Bohaty, S.  
Bohlen, T.  
Bohnhoff, M.  
Bokelmann, G.

Booth, A.  
Börner, F.  
Börner, J. H.  
Börner, R.-U.  
Bosse, C.  
Boxberg, M.S.  
Branco, R.  
Brandes, C.  
Branka, D.  
Broisch, M.  
Bücker, M.  
Bülow, J.  
Buness, H.  
Burschil, T.  
Buske, S.

Byrdina, S.

## C

Caffagni, E.  
Capaccioli, S.  
Capuano, P.  
Cesca, S.

Cherevatova, M.  
Chwala, A.  
Chwatal, W.

**GS-P-01**  
MG-04  
SO5-04  
**UI-P-04**  
**SO3-02**  
GO-P-02  
**DL-P-09**, MG-02, S2-04, S2-P-03, SM-P-05  
SM-2-05  
MG-04  
S2-P-01, S2-P-04  
SO3-02, SO3-03  
**DL-P-11**, SO-P-08, SO2-01, SO2-04, SO3-01,  
SO5-01, SO5-03  
S3-P-02  
S4-P-01, UI-03, UI-P-20  
**GE-2-01**, GE-P-02  
S1-03  
SO5-04  
S1-P-01  
VU-01  
SO-P-11  
**UI-P-20**  
AG-P-05  
GE-1-01  
SO-P-17  
GT-01, SM-1-04, SM-P-09, SM-P-10, UI-01  
**SM-1-04**  
BL-02, **DL-P-08**, S1-01, SM-2-05, **SM-P-01**,  
SM-P-02, SM-P-03, SM-P-06, SM-P-08,  
SO-P-04, SO1-01, UI-P-09  
VU-01

SO5-01  
DL-P-09  
SO-P-07  
S2-03, S2-P-02, S2-P-05, **SO-P-07**, SO-P-15,  
SO-P-19, SO-P-20, SO-P-21, SO4-02, SO4-03  
EM-2-01  
EM-2-01  
UI-04, UI-P-06, **UI-P-18**

Clark, G.	EP-P-01
Constantinou, A.	SM-2-05
Contreras-Reyes, E.	GD-01
Corradini, E.	<b>AG-P-04</b>
Costabel, S.	<b>GE-P-04</b> , S3-P-01, S3-P-03
Cotton, F.	<b>SO5-04</b>
Cristiano, L.	SO-P-13
Cruz, J.V.	VU-01

## D

Dabekaussen, W.	EM-P-03
Daffner, T.	S4-P-01
Dahm, T.	S2-03, S2-P-05, SO-P-07, SO-P-19, SO-P-20, SO-P-21, <b>SO4-02</b> , SO4-03, VU-03
Dahmke, A.	UI-P-04
Daouts, S.	S2-P-05
de la Puente, J.	S2-02
Deckert, H.	GT-04, <b>GT-P-02</b> , SO-P-02
Della Casa, P.	AG-2-03
Delsman, J.	EM-P-03
Dertnig, F.	<b>BL-01</b>
Deus, N.	UI-P-05
Diethart-Jauk, E.	<b>UI-P-02</b>
Dietrich, P.	GE-P-01, UI-P-04
Dietze, M.	SM-P-07
Dlugosch, R.	EM-P-02, S3-P-03
Doneus, M.	AG-1-04
Dörner, D.	UI-P-15
Dorninger, M.	SO5-01
Dreibrodt, S.	MA-P-01
Dresen, G.	SO3-03
Dressel, I.	MG-01
Dzieran, L.	<b>SO-P-10</b>

## E

Eccles, J.	SM-2-05
Eckel, F.	SO-P-05
Eder, A.	AG-1-02
Eichkitz, C.	SM-1-03

Eifert, A.  
El-Sharkawy, A.  
Elbracht, J.  
Ellsworth, W. L.  
Ellwood, S.  
Erkul, E.

Esel, Y.  
Esterhazy, S.

**UI-P-17**  
SO-P-12, **SO-P-13**  
UI-P-05  
SO-P-07  
S3-P-02  
GE-P-03, **MG-P-04**, UI-P-11, UI-P-12, UI-P-13,  
UI-P-19  
**UI-P-11**  
SO5-03

## F

Faria, B.  
Fechner, T.  
Fediuk, A.  
Feldens, P.  
Fera, M.  
Fiandaca, G.  
Filzwieser, R.  
Fischer, S.L.  
Fischer, T.  
Fischer, T.  
Fishkis, O.  
Flores Estrella, H.  
Flores-Orozco, A.  
Flöry, S.  
Frederichs, T.  
Freibothe, R.  
Freitag, R.  
Freudenthaler, A.  
Friederich, W.  
Fritsch, T.  
Fuchs, F.

VU-02  
BL-P-01  
**AG-2-02**, AG-P-02, **GE-P-03**, MG-P-04  
MG-03  
AG-2-06  
GE-1-02  
AG-1-02, AG-2-05  
**UI-P-12**  
UI-P-15  
SM-P-03  
S3-P-04  
**SM-2-01**, **SM-2-02**  
AG-1-01, UI-04, UI-P-06, UI-P-18  
AG-1-02  
MG-04  
AG-2-03  
MG-01, MG-P-03  
**UI-04**, **UI-P-06**  
S1-04, S1-P-01, S2-01  
AG-2-01  
**SO2-04**, **SO2-04**, **SO3-01**, **SO3-01**, SO5-01

## G

Gabler, M.  
Gabriel, G.  
Gajewski, D.  
Gallistl, J.  
Gansum, T.  
Gebhardt, C.

AG-1-02, AG-2-05  
GR-01, SM-1-04  
SM-2-03  
AG-1-01  
AG-1-02  
MG-04

Gegenhuber, N.	BL-01, DL-P-09, SM-1-03, UI-P-02
Geissler, W. H.	MG-02, SO5-02
Georgiopoulou, A.	MG-03
Gessert, A.	SO1-01
Gestermann, N.	SO-P-11
Gierens, L.	<b>AG-P-05</b>
Giese, R.	SM-P-02
Girolami, C.	MG-P-03
Goebel, T.	SO3-03
Gohl, K.	<b>MG-04</b>
Gootjes, R.	GO-P-02
Gorman, A.	SM-2-05
Arbeitskreis Studienfragen Geophysik am KIT	DL-P-02
Gottschämmer, E.	<b>DL-P-02</b>
Götzl, G.	GT-03
Gräber, M.	MG-P-04
Grigoli, F.	SO4-03
Grimmer, J.	GT-06
Grinat, M.	UI-01, UI-P-05
Grohmann, M.	UI-P-08
Grund, M.	<b>SO-P-06, SO2-03, SO3-04</b>
Grünthal, G.	SO5-04
Gugl, C.	AG-1-04
Gundelach, V.	<b>EM-1-01</b>
Gunning, A.	SO-P-07
Gunnink, J.	EM-P-03
Günther, T.	EM-P-02, GE-P-04, UI-01
Gurk, M.	AG-P-06, <b>UI-P-07</b>
Gussone, M.	AG-P-03
Gustavsen, L.	AG-1-02

## H

Haaf, N.	<b>EM-1-04</b>
Haas, M.	<b>MG-02</b>
Hadler, H.	AG-P-02
Hadziioanou, C.	SO-P-17
Hall, K.	SM-2-05
Hammer, C.	SO4-03
Hannemann, K.	<b>GD-01</b>
Hansen, U.	<b>DL-P-10</b>
Hanzich, M.	S2-02

Hartmann, G.	SO-P-17
Hassan, M.	<b>EM-2-02</b>
Hauck, C.	GE-1-02
Hauser, J.	<b>GE-2-03</b>
Hedin, P.	SM-P-02
Heimann, S.	S2-03, <b>S2-P-05</b> , SO-P-07, <b>SO-P-21</b> , SO4-02, VU-03
Heinicke, J.	<b>SO-P-04</b>
Heinonen, S.	SM-P-01
Held, S.	<b>GT-02</b>
Heller, J.	UI-P-11
Hellwig, O.	<b>BL-02</b> , GO-P-02, <b>S1-01</b>
Hensch, M.	<b>VU-03</b>
Herdegen, V.	GE-2-01
Heyde, I.	MG-01, <b>MG-P-03</b>
Hibert, C.	SO3-01
Hilbert, H.	UI-P-10
Hillenbrand, C.-D.	MG-04
Hiller, D.	<b>S1-P-03</b>
Hinterleitner, A.	AG-1-04, AG-2-05, AG-2-06
Hlousek, F.	<b>SM-P-06</b> , <b>SO1-01</b> , <b>UI-P-09</b>
Hochmuth, K.	MG-04
Hoffmann, U.	UI-P-03
Hogg, C.	VU-01
Homuth, B.	<b>SO-P-02</b> , SO-P-03
Hongn, F.	SO2-02
Hördt, A.	<b>DL-P-01</b> , <b>GE-1-01</b> , GE-1-02, GE-1-03, GE-2-02, MA-01, MA-02
Höring, N.	<b>GE-P-05</b>
Hornbruch, G.	UI-P-04
Hort, M.	S1-03
Hu, X.	S1-P-02
Huenges, E.	SM-P-11
Huisman, J.A.	GE-1-01
Humer, F.	AG-1-04
Huwatscheck, L.	<b>UI-P-05</b>
<b>I</b>	
Igel, J.	EM-P-02
Isken, M.	<b>S2-03</b> , S2-P-05, SO-P-21
Ita, A.	AG-P-01



Ivanova, A. SM-2-06, SM-P-11

## J

Jansa, V. AG-1-04, AG-2-05  
Jarosławski, J. SO-P-07  
Jasim, S. AG-2-04  
Jiang, C. **EM-P-02**  
Jochum, B. **AG-P-01**  
Jud, M. GT-05  
Juhlin, C. SM-P-02  
Jusri, T. SM-P-08

## K

Kamkar-Rouhani, A. GE-P-02  
Karaoulis, M. EM-P-03  
Karjalainen, J. SM-P-01  
Karl, L. BL-P-01  
Karlsdottir, R. EM-1-04  
Kaviani, A. SO-P-23  
Keglovic, P. GT-05  
Kellett, R. SM-2-05  
Kemna, A. **DL-P-03**  
Kersten, T. GR-01  
Kirsch, R. UI-03, UI-P-12  
Kiyani, D. VU-01  
Klages, J. MG-04  
Klahold, J. **AG-P-06**  
Klinge, J. EM-P-01  
Klingler, S. **GE-P-01**  
Klinkhardt, D. UI-03  
Kniess, R. **AG-2-04**, AG-P-03  
Koch, K. **SO-P-25**  
Kohl, T. GT-02, GT-06, **GT-07**  
Köhn, D. SO-P-14  
Kolinsky, P. SO5-01  
Konietzky, H. UI-P-01  
Kopp, H. GD-01  
Kormann, J. DL-P-09, **S2-02**, S2-04, S2-P-03  
Korn, M. SM-2-01, SM-2-02, SM-P-07, SO-P-09  
Kostial, D. UI-P-18

Kotowski, P. O.  
Koushesh, M.  
Kowarik, K.  
Kozlovskaya, E.  
Kracht, M.  
Krampe, V.  
Krastel, S.  
Krauß, F.  
Krawczyk, C.  
Krawczyk, C. M.  
Krieger, L.  
Kriegerowski, M.  
Krüger, F.  
Kruschwitz, S.  
Kucera, M.  
Kudla, W.  
Kühn, D.  
Kühn, F.  
Kulüke, C.  
Kummerow, J.  
Küpper, M.  
Kwiatek, G.

**MA-P-02**  
**SO4-01**  
AG-P-01  
SM-P-01  
SO-P-02, **SO-P-03**  
**S2-P-01**  
**MG-03**  
SM-P-02  
SM-2-06, SM-P-11  
SM-1-02, SM-P-04, UI-01  
**GT-04**, GT-P-02, SO-P-02  
S2-03, S2-P-05, **SO-P-19**, **SO-P-20**, SO-P-21  
DL-P-04, SO-P-19, SO-P-20, SO2-02  
GE-1-04  
AG-2-06  
SM-P-06, UI-P-09  
S2-P-05, SO4-02  
**S2-P-04**  
MA-01, **MA-02**  
S2-P-02  
**VU-01**  
SO3-02, **SO3-03**

## L

Lambrecht, L.  
Lamert, A.  
Lange, D.  
Langer, K.-S.  
Larter, R.  
Lasocki, S.  
Lawton, D.  
Lay, M.  
Lay, V.  
Lazcano, S.  
Lebedev, S.  
Lee, W. S.  
Lehmann, K.  
Lenhardt, W.  
Leonhardt, C.  
Lerbs, N.  
Leroy, P.

**S1-P-01**  
S1-P-01, **S2-01**  
GD-01  
UI-P-02  
MG-04  
SO-P-07  
SM-2-05  
**S4-P-01**  
**SM-2-05**  
SM-2-02  
SO-P-13  
SO5-02  
VU-03  
SO3-01  
UI-P-11  
**SM-P-07**  
GE-1-01

Leva, C.  
Leven, C.  
Lewis, R.  
Li, W.  
Lima, I.  
Link, F.  
Linke, M.  
Liu, Y.  
Löberich, E.  
Löcker, K.  
López Comino, J. Á.  
Lösing, M.  
Lucke, B.  
Lührs, M.  
Lüschen, E.

## M

Maghsoudi, S.  
Mai, F.  
Martin, T.  
Martínez-Garzón, P.  
Mattingsdal, R.  
Mauk, B. H.  
Maurya, P. K.  
Maxl, M.  
Mazzotti, A.  
McGuire, J.  
Meier, T.

Meixner, J.  
Meneses Riosecco, E.  
Meurers, B.  
Meyer, C.  
Meyer, M.  
Meyer, U.  
Mittag, R.  
Möller, M.  
Möller, T.  
Montcoudiol, N.  
Mörbe, W.  
Moreno, M.

**VU-02**  
GE-P-01  
UI-P-03  
MG-03  
**UI-P-08**  
**SO-P-16, SO4-04, VU-02**  
BL-02  
**S1-P-02**  
**SO-P-08**  
AG-1-04, AG-2-05, AG-2-06  
SO4-03, SO-P-07  
**GD-P-01**  
SM-P-06, SO1-01, UI-P-09  
**GE-1-03**  
GT-05

SO4-02  
**UI-03**  
EM-2-01, GE-P-04  
SO3-02, SO3-03  
MG-02  
EP-P-01  
GE-1-02  
BL-03  
DL-P-09  
GD-01  
SO-P-12, SO-P-13, SO-P-14, SO-P-17, UI-P-10,  
UI-P-11, UI-P-16  
GT-06  
GT-01  
DL-P-11  
AG-2-04  
EM-2-01  
EM-2-01, EM-P-03  
**SO-P-24, SO1-01**  
UI-P-03  
**S1-04, S1-P-01**  
SO-P-07  
**EM-1-03, EM-2-01**  
GD-01

Morgenstern, R.  
Mozco, P.  
Mudler, J.  
Müller, H.  
Müller-Huber, E.  
Müller-Petke, M.  
Müller-Wiener, M.  
Muttaquien, I.

**UI-P-01**  
DL-P-11  
**GE-1-02**  
MG-P-02  
GE-2-01  
EM-P-02, **S3-P-03**  
AG-P-03  
UI-P-07

## N

Nau, E.  
Neubauer, N.  
Neubauer, W.  
Niederleithinger, E.  
Niemz, P.  
Nissen-Meyer, T.  
Nittinger, C.  
Noell, U.  
Noorda, N.  
Nooshiri, N.  
Norden, B.

AG-1-02, AG-2-05  
AG-1-02  
AG-1-02, AG-1-04, AG-2-05, AG-2-06  
**UI-02**, UI-P-08  
**SO4-03**  
SO1-03  
EM-2-01  
**S3-P-04**  
AG-P-03  
S2-03, SO-P-21  
SM-2-06, SM-P-11

## O

O'Leary, P.  
Oestmann, F.  
Ohrnberger, M.  
Ondrášková, A.  
Orlecka-Sikora, B.  
Ottowitz, D.

UI-P-02  
UI-P-17  
SO-P-19  
DL-P-11  
SO3-03  
AG-P-01

## P

Paasche, H.  
Pan, Y.  
Paschke, M.  
Pauw, P.  
Pavez, M.  
Perugia, I.  
Peters-Poethke, K.

UI-P-04  
S2-P-01  
S2-04  
EM-P-03  
GT-02  
SO5-03  
S2-04, **S2-P-03**

Petersen, F.	GD-01
Petersen, G. M.	<b>S2-P-02</b>
Petersen, H.	EM-2-01
Pfeiler, S.	AG-P-01
Philipp, J.	UI-P-15
Pickartz, N.	<b>MA-P-01</b>
Pilger, C.	SO-P-17, SO-P-25
Plenefisch, T.	S2-P-02, <b>SO-P-11</b>
Plenkers, K.	<b>UI-P-15</b>
Poelzl, H.	UI-P-17
Polom, U.	SM-1-02, SM-P-04, UI-01
Pratt, G.	SM-P-06
Preugschat, B.	<b>UI-P-14</b>
Preuth, T.	UI-P-18
Probst, G.	UI-P-02
Przyklenk, A.	GE-1-02

## Q

Qorbani, E.	SO-P-08
-------------	---------

## R

Rabbel, W.	AG-1-03, AG-2-02, AG-P-02, AG-P-04, <b>DL-P-06</b> , GE-P-03, MA-P-01, MG-P-04, SO-P-05, SO-P-10, UI-P-12, UI-P-13, UI-P-19 <b>S3-P-01</b> , S3-P-03
Radic, T.	SM-2-02
Ramírez Gaytan, A.	<b>BL-04</b>
Rashed, A.	VU-01
Rath, V.	MG-P-02
Reeck, K.	<b>UI-P-13</b>
Reimers, C.	<b>SO-P-09</b>
Rein, T.	AG-P-01
Reschreiter, H.	<b>GE-2-02</b>
Rezaii, N.	DL-P-09
Ribolini, A.	UI-P-17
Richter, C.	GE-2-01
Rieger, A.	DL-P-02
Rietbrock, A.	SO-P-01, SO-P-06, SO1-04, SO2-03, SO3-04, SO4-01, VU-03
Ritter, J.	EM-2-01, UI-01
Rochlitz, R.	

Rodler, F.-A.  
Rohlf, A.  
Rojas, O.  
Roßenzweig, T.  
Roskopf, M.  
Rücker, C.  
Ruiz, S.  
Rulff, P.  
Rümpker, G.  
  
Ruß, D.  
Rusch, K.

VU-03  
UI-P-14  
S2-02  
SM-P-06  
**EP-P-01**  
UI-03, UI-P-20  
SO-P-15  
**EM-1-02**  
GT-04, SO-P-16, SO-P-22, SO-P-23,  
SO4-04, VU-02  
**AG-1-02**  
**AG-1-03**

## S

Sachsenhofer, R.  
Salido, R.  
Salman, I.  
Salzmann, U.  
Sanchidrián, J. A.  
Sandici, V.  
Sanz Alonso, Y.  
Sass, I.  
Sauer, U.  
Saur, J.  
Savage, M.  
Schaeben, H.  
Scheunert, M.  
Schicht, T.  
Schiel, H.  
Schiffler, M.  
Schill, E.  
Schilling, F.  
Schippkus, S.  
Schlögel, I.  
Schmalzl, J.  
Schmid, C.  
Schmidt, B.  
Schmidt, L.  
Schmidt, V.  
Schmidt, V.  
Schmidt-Aursch, M.C.

DL-P-09  
SM-2-02  
AG-P-03  
MG-04  
**GO-P-01**  
AG-1-04  
**SO3-04**  
GT-06  
**BL-P-01**  
DL-P-07, EP-P-01  
SM-2-05  
DL-P-08  
**GO-P-02**  
SO1-01  
AG-2-05, **AG-2-06**  
**EM-2-01, EM-2-01**  
EM-1-04, GT-02, **GT-06**, GT-07  
GT-07  
**SO2-01, SO2-01**  
**AG-1-01**  
DL-P-10  
UI-04  
VU-03  
EM-1-02  
DL-P-10  
AG-2-01, **EM-P-01**, MA-P-02  
**SO5-02**

Schmitt, D. R.	SM-2-05
Schneider, F. M.	<b>SO5-01, SO5-03</b>
Schneider, U.	GT-04
Schneidhofer, P.	AG-1-02, AG-2-05
Scholger Robert, R.	DL-P-09
Scholten, J.	MG-P-04
Schön, S.	GR-01
Schöpa, A.	SM-P-07
Schreckenberger, B.	MG-01
Schreilechner, M.	<b>GT-05, SM-1-03</b>
Schreiter, L.	<b>SM-P-08</b>
Schulte-Kortnack, D.	SO-P-17, UI-P-11
Schumann, K.	MG-01
Schwalenberg, K.	<b>MG-P-02</b>
Schwardt, M.	<b>AG-P-02</b>
Schwarz, B.	<b>SM-1-01, SM-2-03, SO1-03</b>
Schweitzer, J.	<b>SO1-02</b>
Schwenk, T.	MG-03
Seidel, A.	<b>SO-P-05</b>
Sell, K.	GT-P-02
Semmler, G.	GO-P-02
Senoz, M.	<b>MG-P-01</b>
Serafin, S.	SO5-01
Seren, S.	AG-1-04
Seupel, C.	SM-P-08
Sharifi, F.	<b>GE-P-02</b>
Siemon, B.	<b>EM-P-03</b>
Sigloch, K.	SO1-03
Silvennoinen, H.	SM-P-01
Simon, H.	<b>SM-P-02, SM-P-03</b>
Singh, M.	<b>SO-P-22, SO-P-23</b>
Skiba, P.	UI-01
Skibbe, N.	S3-P-03
Sobott, R.	UI-P-10, UI-P-11
Sonntag, M.	GE-P-02
Spieker, K.	SO-P-09
Spitzer, K.	DL-P-08, S1-03
Stadler, S.	S3-P-04
Stange, S.	VU-03
Stebner, H.	GE-1-01, GE-1-03
Steffen, H.	SO-P-11
Steinberg, A.	S2-03, S2-P-05, SO-P-21
Steiner-Luckabauer, C.	<b>BL-03</b>

Steinkraus, T.  
Stellmach, S.  
Steuer, A.  
Stiller, M.  
Stoll, J.  
Stolz, R.  
Strecker, M. R.  
Stromeyer, D.  
Stucchi, E.  
Stümpel, H.  
Sudhaus, H.  
Sutti, E.  
Symank, A.-I.

**UI-P-10**, UI-P-11, **UI-P-16**  
DL-P-10, GD-P-01  
EM-2-01  
SM-2-06, **SM-P-11**, UI-P-14  
MA-01, MA-02  
EM-2-01  
SO2-02  
SO5-04  
DL-P-09  
AG-1-03  
S2-03, S2-P-05, SO-P-21  
SO2-02  
**GT-P-01**

## T

Tanner, D. C.  
Tauchner, C.  
Tencer, T.  
Tesch, M.  
Tezkan, B.  
  
Thomas, C.  
Thomas, C.  
Thomas, R.  
Thorwart, M.  
Timmen, L.  
Tognarelli, A.  
Tonning, C.  
Totschnig, R.  
Townend, J.  
Trabi, B.  
Trausmuth, T.  
Trauth, M. H.  
Trebsche, P.  
Trinks, I.  
Tronicke, J.  
Tschache, S.  
Turck, R.

SM-1-04, SO-P-11, UI-01  
GO-P-01, **SM-P-05**  
AG-1-04  
**SO-P-14**, UI-P-11  
AG-P-05, AG-P-06, **DL-P-07**, EM-1-03,  
GE-2-03, GE-P-05, S1-02, VU-01  
DL-P-10  
SO-P-09  
GT-01  
SO-P-05, SO-P-10, SO-P-17, **UI-P-19**  
GR-01  
DL-P-09  
AG-1-02  
AG-2-06  
SM-2-05  
**SM-2-04**  
AG-1-04, AG-2-05, AG-2-06  
DL-P-05  
AG-1-01  
AG-1-02, AG-1-04, **AG-2-05**, AG-2-06  
**DL-P-04**, **DL-P-05**, S3-P-02  
**SM-1-02**, SM-P-04  
AG-2-03



## U

Uenzelmann-Neben, G.  
Uhlig, D.  
Ullrich, B.  
Umlauf, J.  
Urlaub, M.

MG-04  
UI-P-14  
**AG-2-03, AG-P-03**  
SM-P-07  
MG-03

## V

Valenzuela, C.  
van Baaren, E.  
Vasyura-Bathke, H.  
Verhoeven, G.  
Vermaas, T.  
Vinkilch, A.  
Virgil, C.  
Viveiros, F.  
Vogel, D.  
von Hartmann, H.  
Vonkilch, A.  
Vött, A.

**SO-P-15**  
EM-P-03  
S2-03, S2-P-05, SO-P-21  
AG-1-04  
EM-P-03  
AG-1-04  
**MA-01, MA-02**  
VU-01  
GR-01  
**GT-01, SM-P-09**  
AG-2-06  
AG-P-02

## W

Wadas, S. H.  
Wallner, M.  
Walther, A.  
Wawerzinek, B.  
Weckmann, U.  
Weidle, C.  
Weißbach, J.  
Weise, A.  
Weller, A.  
Wennmacher, A.  
Wenske, M.  
Wenzel, F.  
Werban, U.  
Werner, T.  
Wessely, G.  
Wiesenberg, L.  
Wießner, C.

**SM-P-04, UI-01**  
**AG-1-04, AG-2-05, AG-2-06**  
**BL-05**  
GT-01, **SM-P-10**  
EM-1-02  
SO-P-12, SO-P-13, **SO-P-17**  
UI-P-09  
**GR-01**  
GE-1-04, **UI-P-03**  
DL-P-07  
GD-P-01  
GT-07  
UI-P-04  
SM-2-03  
GT-05  
**SO-P-12**  
GE-P-04

Wilding, J.	AG-1-04, AG-2-05
Wilken, D.	AG-2-02, AG-P-02, AG-P-04, GE-P-03, MG-P-04
Willkommen, G.	EM-1-02
Wittke, J.	AG-P-06, DL-P-07, <b>S1-02</b>
Wölbern, I.	VU-02
Wunderlich, T.	AG-2-02, AG-P-02, GE-P-03, MG-P-04
Wuttke, M. W.	S1-P-03, <b>UI-05</b>

## Y

Yogeshwar, P.	AG-P-05, AG-P-06, EM-1-03, EM-2-01, GE-2-03, GE-P-05, VU-01
Yun, S.	SO5-02

## Z

Zang, A.	SO4-03
Zeckra, M.	<b>SO2-02</b>
Zeiß, J.	<b>S2-04</b> , S2-P-03, SM-P-05
Zhang, Z.	<b>GE-1-04</b>
Zieger, T.	<b>SO-P-01</b> , <b>SO1-04</b>
Ziesch, J.	GT-01
Zigone, D.	SO2-01
Zitz, T.	AG-1-02
Zöllner, H.	AG-P-03
Zschoke, H. K.	<b>GT-03</b>