



79. Jahrestagung
**Deutsche Geophysikalische
Gesellschaft**

04.–07. März 2019 in Braunschweig



Abstracts

ISSN 0344-7251

DOI: 10.2312/dgg79

Deutsche Nationalbibliothek

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

Redaktion:

Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik

TU Braunschweig

Mendelssohnstr. 3

38106 Braunschweig

79. Jahrestagung
Deutsche Geophysikalische
Gesellschaft
04.–07. März 2019 in Braunschweig

Abstracts und Autorenverzeichnis

Inhaltsverzeichnis

Plenarvorträge	06–09
Die Vermessung der magnetischen Welten:	
Von Planeten bis Nanopartikel // <i>Vorträge</i>	10–20
Die Vermessung der magnetischen Welten:	
Von Planeten bis Nanopartikel // <i>Poster</i>	21–25
Endlagergeophysik // <i>Vorträge</i>	26–32
Endlagergeophysik // <i>Poster</i>	33–38
Geophysik in der Geomorphologie // <i>Vorträge</i>	39–46
Geophysik in der Geomorphologie // <i>Poster</i>	47–51
Archäogeophysik // <i>Poster</i>	52–53
Bohrlochgeophysik // <i>Vorträge</i>	53–56
Bohrlochgeophysik // <i>Poster</i>	56–59
Elektromagnetik / Georadar // <i>Vorträge</i>	60–71
Elektromagnetik / Georadar // <i>Poster</i>	72–80
Extraterrestrische Physik // <i>Vorträge</i>	81–85
Geodynamik // <i>Vorträge</i>	85–90
Geodynamik // <i>Poster</i>	89–91
Geoelektrik/IP // <i>Vorträge</i>	92–97
Geoelektrik/IP // <i>Poster</i>	98–109
Geophysik in der Öffentlichkeit // <i>Vorträge</i>	109–110
Geophysik in der Öffentlichkeit // <i>Poster</i>	110–111
Gravimetrie // <i>Poster</i>	111–113
Geschichte der Geophysik // <i>Vorträge</i>	113–116
Geothermie/Radiometrie // <i>Vorträge</i>	116–118
Geothermie/Radiometrie // <i>Poster</i>	119–121
Marine Geophysik // <i>Vorträge</i>	122–125
Marine Geophysik // <i>Poster</i>	125–132
Seismik // <i>Vorträge</i>	133–145
Seismik // <i>Poster</i>	145–150
Seismologie // <i>Vorträge</i>	151–172
Seismologie // <i>Poster</i>	172–190
Umwelt- und Ingenieurgeophysik // <i>Vorträge</i>	191–193
Umwelt- und Ingenieurgeophysik // <i>Poster</i>	193–203
Vulkanologie // <i>Vorträge</i>	204–206
Vulkanologie // <i>Poster</i>	206
Wissenschaftliches Publizieren heute: Texte	
und Forschungsdaten // <i>Vorträge</i>	207–210
Autorenverzeichnis	212–220

PLENARVORTRÄGE

Magnetfeld // *Plenarvortrag*

S1-0.01

The Magnetic Fields of the Terrestrial Planets: Progress and Puzzles

C. L. Johnson

University of British Columbia, Department of Earth, Ocean and Atmospheric Sciences, Vancouver, Canada

The past two decades have seen enormous advances in our understanding of the magnetic fields of planets in our solar system, in particular those of Earth's inner solar system neighbors: Mercury, the Moon and Mars. Modern satellite data, taken in orbit around each of these bodies have allowed the magnetic fields to be characterized globally at spatial scales of 10s to 1000s of km. Among the inner solar system bodies, Earth and Mercury have active core dynamos but the resulting global fields are quite different, both in their structure and strength. These contrasts, together with the absence of present-day dynamos on Mars, Venus and Earth's Moon reflect the combined effects of differing interior structure, heliocentric distance, and the evolutionary paths taken by each planet.

As is the case for Earth, the generation of induced magnetic fields in the interiors of the Moon, Mercury and Mars, can provide insights into interior electrical conductivity structure. Such studies have already been used to probe the size of the metallic core of Mercury and of the Moon. Future work is likely to elucidate the electrical conductivity structure of the silicate portions of these bodies, in turn providing important constraints on composition (specifically, iron and volatile content) and temperature. Essential to these studies are laboratory measurements of the electrical conductivity of appropriate mineralogies, under the temperature and pressure conditions of planetary mantles.

Finally, satellite observations have confirmed the presence of lithospheric magnetic fields on every inner solar system body except Venus, reflecting magnetization of crustal and/or mantle rocks. These magnetizations were either completely or partially acquired in ancient dynamo fields. However, basic questions remain, many of which require understanding rock magnetism at its most fundamental level. What minerals carry the magnetization(s)? How are those magnetizations acquired, retained and modified? In this talk I will review major leaps in our understanding of the magnetic fields of inner solar system bodies other than Earth and highlight progress that is needed across a range of disciplines and specialties to address outstanding puzzles.

Endlagergeophysik // Plenarvortrag

S2-0.01

Geophysikalische Erkundung für geologische Tiefenlager in der Schweiz

T. Spillmann, T. Vietor, H. Madritsch

NAGRA, Wettingen, Schweiz

Das vom Bundesamt für Energie geführte Standortauswahlverfahren für die Entsorgung radioaktiver Abfälle in der Schweiz fusst ausschliesslich auf sicherheitstechnischen Kriterien. Die dafür benötigten geowissenschaftlichen Grundlagen werden in drei Etappen des Sachplanverfahrens schrittweise erarbeitet. Sowohl für die schwach- und mittelaktiven (SMA) sowie für die hochaktiven (HAA) Abfälle wird ein Sicherheitskonzept verfolgt, bei welchem die Geologie neben der Gewährleistung der langfristigen Stabilität auch einen erheblichen Beitrag zur Barrierenwirkung erbringen soll. Dabei stellt das Wirtgestein inkl. allfälliger Rahmengesteine (einschlusswirksamer Gebirgsbereich) eine für die Radionuklid-Rückhaltung geeignete hydrogeologische, geochemische und geomechanische Umgebung zur Verfügung.

Die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (NAGRA) ist zuständig für die Auswahl möglicher Wirtgesteine und Erkundung geeigneter Lagerstandorte. Historisch begann die explorative Tätigkeit in den 1980-er Jahren mit regionalen geophysikalischen Messkampagnen und einem sieben Bohrungen umfassenden Erkundungsprogramm, damals noch mit Fokus auf das kristalline Grundgebirge. In den frühen 1990-er Jahren verschob sich der Fokus vom Kristallin auf den stratigraphisch dem Dogger zugeordneten Opalinuston, der sich durch eine sehr geringe hydraulische Durchlässigkeit, günstige Sorptionseigenschaften und ein vorteilhaftes Quellvermögen auszeichnet.

Als Grundlage für den grundsätzlichen Nachweis der technischen Machbarkeit eines HAA-Lagers (Entsorgungsnachweis) konnte mit einer 1996/97 durchgeführten 3D-Seismik nördlich von Zürich die Existenz einer 100-120 m mächtigen, homogenen und nur wenig tektonisch gestörten Opalinustonschicht nachgewiesen werden. Rund zwei Jahre später wurde in diesem Gebiet die 1007 m tiefe Sondierbohrung Benken abgeteuft. Die gewonnenen geologischen, petrophysikalischen und hydrogeologischen Daten vervollständigten das seismische Bild des Untergrundes und zielten auf die umfassende Charakterisierung des Wirtgesteins ab. Dank exzellenter Korrelation von Bohrlochseismik und VSP Messungen konnte die 3D-Seismik in Tiefe kalibriert und die lithostratigraphischen Verhältnisse erfolgreich auf das Messgebiet der 3D-Seismik extrapoliert werden.

Aktuell untersucht die NAGRA drei potenzielle Standortgebiete in der Nordschweiz, die sicherheitstechnisch verglichen werden müssen. In den Jahren 2015-2017 sind drei weitere 3D-Seismik Datensätze erhoben worden. Während in den 90-Jahren dem Paradigma einer orthogonale Akquisitionsgeometrie gefolgt wurde, maximierten die modernen Kampagnen den Einsatz von Vibratoren, indem rund 85% der Quellpunkte

auf Fahrwege gelegt wurden. In der Datenverarbeitung sind etablierte Methoden variiert worden, um für unterschiedliche geologische Situationen optimale Abbildungseigenschaften zu erhalten. Es resultierten subtile Unterschiede in der Abbildung von strukturellen Elementen, deren Bedeutung im Rahmen der geologischen Interpretation abgeklärt wurde. Eine Tiefenkalibration und Re-Interpretation der 3D-seismischen Datensätze steht mit dem Fortschreiten der aktuell laufenden Tiefbohrkampagne in Aussicht.

Neben der 3D-Seismik, Bohrlochdaten und Bohrkernen stehen Daten und Erkenntnisse zum Wirtgestein aus dem untertägigen Forschungslabor Mont Terri zur Verfügung. Abschliessend erfolgt die Auswahl des geeignetsten Standorts für ein SMA und ein HAA Lager – oder für ein Kombilager – aufgrund der integrativen Auswertung aller Felddatensätze gemäss den definierten Kriterien.

Die Entwicklungsgeschichte der Erde: von der Entstehung bis zur modernen Geodynamik // *Plenarvortrag*

S3-0.01

The formation of our solar system and the proto-Earth

B. Gundlach

TU Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik, Braunschweig

The formation of our solar system began with the gravitational collapse of a cold molecular cloud. At the time of this collapse, first nuclear reactions provided the energy to stop the initial collapse and the central star was formed - our Sun. During this early phase of solar system evolution, the Sun was surrounded by a disk composed of gas and dust.

In this disk small, micrometer-sized dust grains coagulated until fluffy millimeter-sized aggregates were formed. While growing in size, the relative velocities between the aggregates increased and further growth by collisions was impossible. However, small ensembles of aggregates were able to collect further aggregates until the critical mass for a gravitational collapse was reached. The collapse of aggregate ensembles has then led to the formation of kilometer-sized objects, named planetesimals.

Further growth of the planetesimals was possible by gravitational accretion of surrounding material, which has finally resulted in the formation of the proto-Earth about 4.54 billion years ago and of the other planets of our solar system.

S4-0.01

Environmental seismology: geophysical remote sensing of Earth surface processes and properties

N. Hovius^{1,2}, J. Turowski¹, M. Dietze¹, K. Cook¹, A. Schöpa¹, C. Masteller¹, L. Illien¹, C. Sens-Schönfelder¹, O. Marc³

¹GFZ Potsdam, Potsdam,

²University of Potsdam, Department of Geosciences, Potsdam,

³University of Strasbourg, Strasbourg, France

After a period of pioneering efforts, the use of seismological techniques is now extending apace into the study of geomorphic, hydrologic, cryospheric and atmospheric processes operating at the Earth's surface. These passive, non-invasive techniques are allowing penetrative remote sensing of otherwise inaccessible processes and environments from safe vantage points at high temporal resolution and with landscape-scale coverage. They generate transmittable signals permitting real time process detection and the compilation of event catalogues that are more complete and dispassionate than those derived from traditional observations. Environmental seismology is generating new insights into process mechanics, patterns of occurrence, connections between different surface processes and links between external drivers and surface process response. In addition, seismological methods give insight into the state of near surface materials and its evolution, and it has the potential to constrain energy transfers between surface processes. Using examples from the domains of process geomorphology and landscape dynamics, we shall illustrate these capabilities and developments. These examples will include new insights into the mechanisms that allow glacier and dam outburst floods to have a disproportional impact on river channels and surrounding hillslopes; identification of precursor signals and processes leading up to catastrophic slope failure; a demonstration of efficient two-way links between channels and hillslopes at the event scale; quantitative constraints on the links between meteorological drivers and geomorphic response; and an exploration of the damage and healing of hillslope materials during and after earthquakes and effects on the propensity to slope failure. These examples serve to underline the potential of the budding field of environmental seismology, but also to identify the challenges that have to be overcome to achieve this potential.

Die Vermessung der magnetischen Welten: Von Planeten bis Nanopartikel // Vorträge

S1-1.01

Palaeomagnetism and geochronology of Oligocene and Miocene volcanic sections from Ethiopia: geomagnetic variability in the Afro-Arabian region over the past 30 Ma

F. Lhuillier, S. Gilder

Ludwig-Maximilians-Universität, Geophysik, München

We report palaeomagnetic and K–Ar geochronologic results of two volcanic sequences from Ethiopia. The Belessa section, dated around 29–30 Ma and spanning 1 km in thickness, is related to the Oligocene Afro-Arabian traps, whereas the 700-m-thick Debre Sina section was emplaced during the Miocene in two periods around 10–11 and 14–15 Ma. We sampled 67 flows of predominantly basaltic rocks near Belessa and 59 rhyolitic to trachybasaltic flows near Debre Sina. From a geodynamic viewpoint, the magnetostratigraphy of the Belessa sequence confirms that the Ethiopian traps were emplaced at a minimum rate of one meter per kyr, with a possible acceleration of the volume of volcanism over time. To provide insight into the evolution of the geomagnetic field in the Afro-Arabian region over the past 30 Myr, we combined our results with previous studies in the same area. Recentred directional distributions were elongated in the meridian plane, in coherence with field models for a dipole-dominated field. The dispersion S of the virtual geomagnetic poles, representative of the vigour of palaeosecular variation, was approximately 50 per cent higher during the 10–30 Ma interval than during the past 5 Myr. As the reversal frequency f was more than two times lower during the Early Oligocene than during the Plio-Pleistocene, it appears that S and f are uncorrelated in this near-equatorial region. It remains an open question whether this apparent decoupling is ascribable to a local anomaly, is only sporadic in time, or represents a general feature of the geodynamo.

S1-1.02

Testing the geomagnetic field recording fidelity of Black Sea sediments by re-sedimentation experiments

N. Nowaczyk¹, J. Liu¹, H. Arz²

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam GFZ, Potsdam,

²Leibnitz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde, Rostock

The reconstruction of geomagnetic field variations for the time interval between 68.9 and 14.5 ka BP from Black Sea sediments yielded intensities ranging from only 3 μT at 41.6 ka during the Laschamp excursion and $\sim 60 \mu\text{T}$ before at ~ 50 ka, with the present day field being in the range of 48 μT at the Black Sea. In general, global and other regional paleointensity stacks show a similar sequence of lows and highs for the studied time interval, but with a (much) lower dynamical range. In order to check the fidelity of the obtained intensity record especially for low values, Black Sea sediments were used for re-sedimentation experiments under controlled field conditions using intensities between 2 and 130 μT . A focus was also set to low field values since many other

published experiments mainly focused on fields between 20 and 150, sometimes even 1400 μT . For sample preparation, over a few days, small amounts of a diluted slurry was successively injected into plastic boxes. The boxes were left open in order to achieve compaction by partial drying. Acquired magnetizations were stepwise demagnetized and imparted anhysteretic and isothermal remanent magnetizations were used for normalizing. The results show a clear linear relationship between the field intensity during deposition and obtained normalized magnetizations in the field range from 2 to 130 μT . Therefore, the paleointensity record reconstructed from Black Sea sediments (field intensities between 3 and 60 μT) can be taken as a reliable image of geomagnetic field variations in the Black Sea area during the last glacial.

S1-1.03

Global geomagnetic field characteristics during, before and after excursions

M. Korte¹, M. Brown², S. Panovska¹

¹Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 2.3, Potsdam,

²University of Iceland, Institute of Earth Sciences, Reykjavík, Island

The normal polarity paleomagnetic field during the (present) Brunhes chron is interrupted by several excursions when the field deviated from its near-axial dipole dominated state. Although a number of individual paleomagnetic records provide detailed descriptions of field variations during excursions, the global field behaviour is not well known. The Laschamp excursion (~41 ka) is arguably the best documented excursion, with large directional and intensity variations recorded by globally distributed sediment cores and volcanic rocks. Other excursions are documented by only a few records and it is debated how many of them occurred and if they are global. Recently developed spherical harmonic magnetic field models based on paleomagnetic data provide the opportunity to study global field behaviour before and during excursions. LSMOD spans 50 to 30 ka and was optimized to study the Laschamp and Mono Lake (~33 ka) excursions. GGF100k is optimized to describe the long-term field evolution spanning the entire past 100 ka, including also the proposed Post-Blake (~95 ka), Norwegian-Greenland Sea (~60 ka) and Hilina Pali (~17 ka) excursions. However, GGF100k gives a more subdued picture of the excursions because it is of lower temporal resolution. The analysis of LSMOD reveals (1) very low global field intensity during the Laschamp, but a more subdued reduction in intensity during the Mono Lake excursion; (2) an incomplete recovery of the dipole moment after the Laschamp excursion; (3) an approximate duration of 2 kyrs for the surface signature of the Laschamp as a global event, based upon the reduction in dipole strength and paleosecular variation activity; and (4) a driving mechanism that primarily involves axial dipole decay and recovery, with the smaller scale field varying in a similar way to secular variation preceding the excursion. Both models suggest that the less well established excursions, such as the Mono Lake or Hilina Pali, might be series of regional excursions during times when the axial dipole strength approximately equals the non-dipole field strength. Moreover, both models at times have intensity field structures resembling the present-day South Atlantic weak field Anomaly (SAA), but these are not direct predecessors of excursions. Our models thus suggest that the present day SAA cannot be seen as indicator for an impending excursion or reversal.

S1-1.04

Probing the Earth's core dynamics through the assimilation of geomagnetic data into dynamo simulations

S. Sanchez, J. Wicht

Max Planck Institute for Solar System Research, Göttingen

The geodynamo is a complex nonlinear system operating in the Earth's core, which can be solely observed through its magnetic field at and above the Earth's surface. These observations are often affected by errors induced either by experimental uncertainties or problems in separating the contributions of the different field sources. Estimating the deep core dynamics from such noisy surface data is a challenging dynamical inverse problem, which can be supported by prior information from dynamo simulations and tackled within a data assimilation framework. The Ensemble Kalman Filter (EnKF) provides an interesting approach to the data assimilation problem, given the high-dimensionality and nonlinear character of the geodynamo system. Within this approach, the error covariance necessary for the propagation of information from observable to hidden parts of the system is provided by an ensemble of dynamo models. In this talk, we will explore different aspects of geomagnetic data assimilation within an EnKF approach, based on synthetic experiments. We investigate, for instance, the convergence time of the assimilation based on geomagnetic data characteristics, the impact on the dynamo simulation set up on the propagation of information from observations to the deep core, the resolution of the recovered flow structure and the predictability of the magnetic field forecasts. These analyses can provide important insights for the interpretation of the assimilation of geophysical data, such as geomagnetic field models based on modern or paleomagnetic observations. In particular, we focus on the possibility of retrieving information on the depth extent and longevity of the planetary scale gyre observed in core flow models, as well as predicting the long term evolution of the core's magnetic field, including specific features such as the South Atlantic Anomaly.

S1-2.01

Induktion als Störquelle in bewegten Fluxgate-Magnetometern

C. Kulüke¹, C. Virgil¹, J. Stoll², A. Hördt¹

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

Fluxgate-Magnetometer können mit ihrer hohen Genauigkeit und hohen Datenraten in vielen Anwendungsbereichen eingesetzt werden. Dies und das geringe Sensorgewicht führen auch zu einer vermehrten Anwendung in bewegten Systemen. So werden diese Sensoren zum Beispiel zur Navigation oder bei geophysikalischen Messungen im Feld (z. B. in der Archäogeophysik) auch mit luftgestützten Systemen eingesetzt.

Bei verschiedenen Feldmessungen beobachteten wir periodische Störungen im Totalfeld, die nicht durch klassische Fehlerquellen erklärt werden konnten. Eine mögliche Fehlerursache sind Induktionseffekte in den Kompensationsspulen der Sensoren aufgrund der Bewegung der Sensoren relativ zum Erdmagnetfeld.

In diesem Beitrag zeigen wir den beobachteten Effekt anhand von Messreihen unter Laborbedingungen sowie eine aus physikalischen Modellen abgeleitete analytische Korrektur.

S1-2.02

VTDX: a new edge detection filter for interpretation of magnetic data

I. Ibraheem, B. Tezkan

Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie, Köln

Edge detection methods play an important role in subsurface structural and geological interpretation of potential field data. Due to the increase in accuracy, quality of edge location and noise's reduction, the use of edge detectors becomes more common and a requisite task in the interpretation process. In the present research, a new enhancement filter, named VTDX filter, is introduced to determine accurately the spatial distribution of causative bodies in magnetic maps. The new enhancement edge detector which is high-pass filter utilizes the vertical derivative (VDR) and the horizontal tilt angle (TDX) techniques. Numerical simulation was used to produce synthetic data over several causative magnetic sources at different depths. Furthermore, a Gaussian noise was added to the obtained synthetic data set in order to simulate the noise-contaminated data collected at the field.

The results show that the VTDX filter gives better imaging of edges of causative sources where it can be considered as a power tool in delineation the edges of shallow as well as deep-seated anomalies with a high precision compared to other commonly used edge detecting techniques (like: tilt angle derivative (TDR), total horizontal derivative (THDR) of TDR, Cos Theta, horizontal tilt angle method (TDX)..etc.). In addition, our filter has the advantage that it can balance and normalize the edges of strong and weak amplitude anomalies of sources buried at different depths simultaneously. The present filter was examined successfully through real magnetic field data. In comparison with the other edge detectors, VTDX filter can detect the edges of the sources more precisely and clearly with a higher resolution. This method represents a useful tool in qualitative interpretation of magnetic data and constructing structural maps.

S1-2.03

Von der magnetischen Prospektion zur Masse des archäologischen Befunds

*N. Pickartz^{1,2}, R. Hofmann^{2,3}, S. Dreibrodt^{2,4}, K. Rassmann⁵, L. Shatilo^{2,3},
R. Ohlrau³, D. Wilken^{1,2}, W. Rabbel^{1,2}*

¹Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel,

²Universität zu Kiel, SFB 1266: „TransformationsDimensionen – Mensch-Umwelt Wechselwirkungen in Prähistorischen und Archaischen Gesellschaften“, Kiel,

³Universität zu Kiel, Institut für Ur- und Frühgeschichte, Kiel,

⁴Universität zu Kiel, Institut für Ökosystemforschung, Kiel,

⁵Deutsches Archäologisches Institut, Römisch-Germanische Kommission, Frankfurt am Main

Die sogenannten Megasiedlungen der Cucuteni-Tripolye Kultur umfassen mehrere 100 ha und mehrere Tausend Gebäude. Der Erkenntnisgewinn durch Ausgrabungen beschränkt sich zum Erhalt dieses Bodendenkmals auf wenige ausgewählte Objekte. So ist es von großem Interesse mit den zerstörungsfreien Methoden der Geophysik einen Forschungsbeitrag zu leisten, der über die Kartierung der archäologischen Strukturen hinausgeht.

Auf Grundlage von magnetischen Prospektionen ist bekannt, dass der Fundort Maidanetske (Ukraine, Oblast Tscherkassy) als eine der größten Siedlungen etwa 200 ha und annähernd 3000 Häuser umfasst. Die Ausgrabungen zeigten, dass die Überreste der Häuser sich durch eine kompakte Schicht aus gebranntem Lehm in einem diskreten Tiefenbereich auszeichnen. Unter den Annahmen, dass die Suszeptibilität des Materials der Schichten ober- und unterhalb homogen ist, können diese bei der Inversion der magnetischen Gradiometermessungen vernachlässigt werden. Damit wird die Magnetisierung auf den Tiefenbereich der Brandlehmschicht eingeschränkt. Die Tiefenbereiche sind aus mehreren Aus- und Testgrabungen bekannt und werden für die Inversion vorgegeben. Unter Einbeziehung von smoothness-constraints und Positivität der Magnetisierung wird mit einem Trust-Region-Algorithmus die Magnetisierung bestimmt.

Bei drei vollständig ausgegrabenen Gebäuden wurden die Massen von Brandlehm und Keramik pro Grabungsquadrant gewogen. Über eine orthogonale Distanz-Regression werden die Koeffizienten für eine lineare Beziehung zwischen Magnetisierung und archäologischen Massen bestimmt. Hierüber lassen sich nun für nicht ausgegrabene Gebäude die Massen von Brandlehm und Keramik abschätzen. Dies wurde exemplarisch für 45 Gebäude, deren Tiefenbereich überwiegend bekannt war, durchgeführt.

Die berechnete Verteilung der Magnetisierung wird mit den standardisierten Hausgrundrissen verglichen um die Orientierung der Häuser zu untersuchen. Möglicherweise lassen sich Teile des unbeweglichen Inventars lokalisieren und Bereiche unterschiedlicher Brandbedingungen erkennen. Eine Betrachtung des Verhältnisses von der Gesamtfläche zur Gesamtmasse pro Gebäude deutet auf eine Aufspaltung in zwei Gruppen von Häusern hin. Als erste Interpretation kommen hierfür unterschiedliche Konstruktionstypen oder unterschiedliche Brandbedingungen in Betracht.

S1-2.04

„More than walking on a field and producing greyscale pictures“ – Magnetometer Prospection in Archaeology

S. Ostner, J. Faßbinder, M. Parsi, M. Scheiblecker

Ludwigs-Maximilians-Universität München, Department of Earth and Environmental Sciences, München

Starting with a successful detection of underground kilns by magnetic measurements in 1958, the application of geophysical methods has become an indispensable tool in archaeology. As one of the most prominent methods, magnetometer surveys, rely on the contrast between magnetisations, magnetic susceptibility and content of magnetic minerals of the buried archaeological features and the surrounding soil. This non-destructive mapping method enables to investigate large areas of archeological interest without an actual excavation and in a short time. Striking case studies range from showing the layout of single houses and palaces up to revelation the outline of whole cities. Magnetic prospection therefore provides archaeologists with a detailed interpretation of the structuring and organisation of ancient living. Precisely because the setup and usage of portable survey magnetometers has become more and more user-friendly and simpler, the method is quite often applied by archaeologist as well as

amateurs. But without the mineral and rock magnetic expertise and experience to evaluate occurring anomalies and features, the interpretation, however, is often speculative. A correct interpretation is crucial, since excavations rely on the results of the magnetometer survey. We show, among others, recent results demonstrating this powerful tool, but we also show why interpretation still and in future requires a geophysical approach and expertise accompanied by the archaeological one. This will include examples from Ethiopia, where due to the close location to the magnetic equator, magnetic anomalies look differently compared to more common ones at higher latitudes. Another example will be a burial ground in Uruk (Iraq) with coffins showing positive as well as negative anomalies. Amateurs would be puzzled, but we as geophysicists have a reasonable explanation based on the on-field magnetic measurements: Due to different fire temperatures, the coffins contain different magnetic minerals (manifesting in different susceptibilities causing different magnetisations compared to the surrounding material). Contrary to the amateur and archeologic opinion, a scientific valid magnetometer prospection does not end by running on the field. It also involves careful and cautious data processing, evaluation and interpretation and ends with studies and measurements of the magnetic properties of the soil and archeological building material on the field as well as in the laboratory.

S1-3.01

Auswertung und Interpretation von Boden- und Satellitenmessungen des geomagnetischen Feldes im Rahmen des DFG Schwerpunktprogramms 1788 „Dynamic Earth“

B. Fluche¹, C. Stolle¹, F. Vervelidou¹, J. L. Chau², J. Kusche³, J. Vogt⁴, H. Lühr¹

¹Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam,

²Leibniz Institut für Atmosphärenphysik, Radarsondierungen, Kühlungsborn,

³Universität Bonn, Institut für Geodäsie und Geoinformation, Bonn,

⁴Jacobs University, Physics & Earth Sciences, Bremen

Das System Erde unterliegt einem dauernden Wandel. Veränderungen im Erdinnern, in der Atmosphäre, in den Ozeanen sowie im erdnahen Weltraum bilden sich zu einem wesentlichen Teil im Magnetfeld und Schwerefeld ab. Um diese Prozesse und deren Wechselwirkungen zu identifizieren und zu verstehen, hat die DFG im Jahr 2014 das Schwerpunktprogramm SPP 1788 „Dynamic Earth“ ins Leben gerufen. Dieses Programm besteht aus zwei Phasen mit einer Dauer von jeweils drei Jahren. Die ersten Projekte in diesem Programm begannen 2015, die zweite Programmphase startete in 2018 mit neuen und mit Fortsetzungsanträgen.

Im besonderen Fokus dieses Schwerpunktprogramms steht die Quantifizierung globaler Transportmechanismen und solar-terrestrischer Wechselwirkungen. Als Grundlage für das Forschungsvorhaben dienen sowohl weltweite Messungen von stationären und mobilen Observatorien als auch von LEO-Satelliten wie CHAMP, GRACE und GOCE.

Einen besonderen Stellenwert für das SPP hat die im November 2013 gestartete Multi-Satellitenmission Swarm der ESA. Die drei identischen Satelliten tragen Instrumente zur Vermessung des terrestrischen Magnetfeldes und weiterer relevanter physikalischer Feldvariablen. Die Variationen der gemessenen Felder können über einen bisher unerreichten spektralen Bereich zeitlicher und räumlicher Skalen erfasst werden.

Um den bisherigen Kenntnisstand optimal zu erweitern, werden die Einbeziehung weiterer physikalischer Felder in die Analyse sowie die Berücksichtigung bodengebundener Messungen und Modellergebnisse eingesetzt.

In diesem Vortrag präsentieren wir die Ziele und Arbeiten des SPP und legen besonderen Wert auf ausgewählte Beispiele von Projektergebnissen. Weiterhin stellen wir zum Abschluss des SPP geplante Ansätze für eine kombinierte Auswertung mit interdisziplinären Verfahren vor.

S1-3.02

Solar cycle variations in ground-based geomagnetic records

S. Gilder¹, M. Wack¹, E. Kronberg^{1,2}, A. Prabhu²

¹Ludwig Maximilians Universität, Geo- und Umweltwissenschaften, Munich,

²Max Planck Institute for Solar System Research, Göttingen

We developed a new technique based on differences in instrument responses from ground-based magnetic measurements that extracts the frequency content of the magnetic field with periods ranging from 0.1 to 100 seconds. By stacking hourly averages over an entire year, we found that the maximum amplitude of the magnetic field oscillations occurred near solar noon over diurnal periods at all latitudes except in the auroral oval. Seasonal variability was identified only at high latitude. Long-term trends in field oscillations followed the solar cycle, yet the maxima occurred during the declining phase when high-speed streams in the solar wind dominated. A parameter based on solar wind speed and the relative variability of the interplanetary magnetic field correlated robustly with the ground-based measurements. Our findings suggest that turbulence in the solar wind, its interaction at the magnetopause, and its propagation into the magnetosphere stimulate magnetic field fluctuations at the ground on the dayside over a wide frequency range. Our method enables the study of field line oscillations using the publicly available, worldwide database of geomagnetic observatories.

S1-3.03

The magnetic field, a remote sensing signal for observing terrestrial processes

H. Lühr, C. Stolle

Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sekt. 2.3, Geomagnetismus, Potsdam

Originally the intensification of magnetic field measurements by various observatories was to better characterise the distribution and evolution of the geomagnetic field. In the meantime and in particular with the help of dedicated magnetic survey satellite missions like CHAMP and Swarm highly reliable models of the main field have been developed. Latest versions are so precise and the resolution of magnetometers is so high that small deviations can be interpreted as signal of unmodeled sources. Many terrestrial processes produce, as secondary effects, also small magnetic signatures. For example, when salty seawater flows across the geomagnetic field electric currents are induced. Their magnetic fields are small but can be detected and provide an alternative way of circulation monitoring. The low-latitude ionosphere tends to become unstable

after sunset. The resulting plasma density irregularities can badly degrade or disrupt GPS navigation signal. These density fluctuations are commonly accompanied by magnetic signatures due to their diamagnetic effect and therefore can be mapped out by low-Earth orbiting satellites. Tidal atmospheric winds partly propagate upward. When they reach the ionosphere they drive the charged particles and cause electric currents that generate magnetic fields. Only by means of satellite observations it was possible to obtain the global tidal picture. A rather recent finding is that stratospheric sudden warming (SSW) events in Arctic regions enhance the lunar tidal modulation of the equatorial electrojet intensity significantly. An SSW has a major impact on middle atmospheric dynamics, but its direct observation in stratospheric data dates back only to the 1950s. For proper climate modelling the knowledge of SSW occurrences before that date would be of great interest. Here the magnetic field recordings at low latitude from the past 200 years can help to fill that gap.

S1-3.04

Combining satellite and aeromagnetic data in Antarctica – pitfalls and opportunities

J. Ebbing¹, E. Baykiv², F. Ferraccioli³, F. Pappa¹, J. Sebera¹, W. Szwillus¹

¹CAU Kiel, Geowissenschaften, Kiel, ²DIAS, Dublin, Irland,

³British Antarctic Survey, Cambridge, United Kingdom

Large parts of Antarctica are covered by aeromagnetic surveys that have been recently compiled within the international ADMAP 2.0 project, which can be used for tectonic interpretations and for magnetic source depth estimates. However, the accuracy of the long wavelength part of survey data is limited due to various reasons, e.g. survey extension, IGRF/DGRF correction, levelling or data merging. Therefore, satellite data or global models are often used to replace the long-wavelength part, despite a spectral gap between satellite and survey data. The new generation of satellite data can help better define the long-wavelength part of the magnetic anomaly field, especially with the availability of new models based on the Swarm satellite mission.

We use both a satellite derived dataset and a combined dataset to analyse the lithospheric sources of magnetisation for the Antarctic continent. A step-wise approach is introduced, where both data sets are used within their sensitive spectral range.

We demonstrate that in a cratonic setting like East Antarctica estimates of deep magnetic sources can be very inaccurate and should therefore only be interpreted with great caution in terms of Curie isotherm depth, for example. Furthermore, the use of such estimates alone in deriving geothermal heat-flux is limited. In order to properly assess Curie depth variations and their tectonic significance, the magnetic analysis needs to be linked to independent thermal models of the lithosphere either by forward or inverse modelling.

An alternative approach is to use the magnetic anomalies to indirectly trace the extent of subglacial geological provinces, which potentially have different thermal properties. Such an approach, especially if based on cluster analysis together with the gravity field, can provide information that can be exploited by stochastic inversion of multiple data sets.

S1-4.01

Explaining Jupiter's Peculiar Magnetic Field

J. Wicht¹, T. Gastine², L. Duarte³, S. Sanchez¹

¹MPS, Goettingen, ²IPGP, Paris, France, ³University of Exeter, Exeter, United Kingdom

The new data delivered by NASA's Juno spacecraft significantly increase our understanding of Jupiter's internal dynamics. While Juno's magnetometer reveals the internal magnetic field, the gravity data constrain the depth of the zonal flows, which seem to slow down considerably at about 0.96% of the planet's radius. Here we study the Jovian dynamo action with numerical dynamo simulations that incorporate a Jupiter-like electrical conductivity profile. The results suggest that the zonal winds, though weaker at depth, still contribute significantly to the particularities of the magnetic field. Shearing of the internally produced primary large-scale field gives rise to a secondary dynamo operating at about 0.95% of Jupiter's radius. This can explain the banded structures and north/south asymmetries observed by the Juno magnetometer measurements. The simulation predict a slow motion of magnetic features towards the poles in the form of Parker dynamo waves that may be observable over the Juno mission duration.

S1-4.02

Deep-Seated Convection in Mercury's Core: Implications for the Hermean Dynamo

P. Kolhey¹, D. Heyner¹, J. Wicht², K.-H. Glaßmeier¹

¹Technische Universität Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik, Braunschweig, ²Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Göttingen

Ever since the discovery of the internally generated magnetic field on Mercury during the first flybys of the Mariner 10 spacecraft back in 1974, its presence raised a lot of questions about the dynamo action generating the magnetic field of the sun-nearest planet. First magnetic field models revealed that the field strength is roughly 1% of the magnetic field strength on Earth, which was later confirmed by data of the MESSENGER mission. Furthermore the field shows a strong axial symmetry and is dipole dominated. However, the internal generation of such a weak, axisymmetric magnetic field cannot be explained by adjusting typical parameters like the Ekman number in dynamo models, since the resulting magnetic field is too strong and do not show the observed field morphology. One model to explain the Hermean magnetic field is a deep-seated dynamo proposed by Christensen (2006) and further investigated by Christensen & Wicht (2008). In this model the upper part of the liquid outer core is stably stratified and therefore subadiabatic, such that convection is only present in the superadiabatic part underneath the stable layer. This configuration leads to a damping of the magnetic field due to a passive skin effect. This damping is more effective for higher magnetic field modes such that the observed field outside the core is dipole dominated, axisymmetric and shows a clearly weakened field strength compared to the field inside the core. In this study we present new direct numerical simulation of deep-seated convection for Mercury's outer core. We employ (magneto-)hydrodynamic simulations to achieve a fundamental understanding of the hydrodynamics of such a system configuration, first. Based on these findings, we present the necessary internal

geophysical structure regimes of Mercury that provide a suitable magnetic field damping and conclude with first magnetohydrodynamic simulations exploring these regimes.

S1-4.03

Lunar crust magnetization near the Schlüter P. Crater

D. Constantinescu, K.-H. Glassmeier, U. Auster

TU Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik, Braunschweig

Apart from a few strong magnetic anomalies, most of the lunar crust is only weakly magnetized. Here we investigate the weak crustal magnetization in the vicinity of the Schlüter P. crater, northeast from Mare Orientale, by analysing the magnetic field data measured by one of the ARTEMIS probes along three low altitude passes over this region. Assuming dipolar magnetic sources beneath the surface we estimate the depth for the sources locations and the magnetization of the crust. Our results suggest that the local magnetization of the crust extends over its entire depth.

S1-4.04

Magnetic Properties of Ryugu

D. Hercik¹, K.-H. Glassmeier^{1,2}, H.-U. Auster¹, D. Constantinescu¹, T.-M. Ho³, C. Krause⁴, F. Wolff⁵, J.-T. Grundmann³, K. Sasaki³, J. Blum¹, M. Fujimoto⁶, C. Güttler², A. Hördt¹, E. Kührt⁷, U. Motschmann^{7,8}, I. Richter¹, B. P. Weiss⁹

¹TU-Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik, Braunschweig, ²Max Planck Institute for Solar System research, Göttingen, DLR, Institute of Space Systems, Bremen, ⁴DLR, Microgravity User Support Center, Köln, ⁵DLR, Institute of System Dynamics and Control, Oberpfaffenhofen-Wessling, ⁶JAXA, Institute of Space and Astronautical Science, Kanagawa, Japan, ⁷DLR, Institute of Planetary Research, Berlin, ⁸TU-Braunschweig, Institut für Theoretische Physik, Braunschweig, ⁹MIT, Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Cambridge, United States of America

Magnetic measurements on solar system bodies contribute to our knowledge of the solar system formation and the role of magnetic field in the bodies formation and their internal processes. Observations of the magnetization of asteroids indicate diverse properties. Values between $1.9 \cdot 10^{-6}$ Am²/kg (Eros) and 10^{-2} Am²/kg (Braille) have been reported. Also the relation of in-situ measurements to values observed by the paleomagnetic studies on the meteorites is not yet clear.

The Hayabusa2 mission delivered a small lander MASCOT to the surface of asteroid Ryugu in October. One of the four instruments onboard MASCOT is a magnetometer experiment, MasMag. MasMag is a state-of-the-art fluxgate magnetometer, successfully operated also on Philae, the Rosetta mission lander. MasMag allows, after Eros for the second time ever, to determine the magnetic field of an asteroid during descent and on-surface operations. The new observations show that the global magnetization of Ryugu, a low-albedo C-type asteroid, is rather small, not larger than $2 \cdot 10^{-6}$ Am²/kg, assuming homogeneously magnetized blocks on scales larger than 1 m.

S1-4.05

SOSMAG: Space - Weather Magnetometer mit automatischer Korrektur von AC-Raumsonden-Störungen

U. Auster¹, M. Delva², SOSMAG-Team^{1,2,3,4,5}

¹TU Braunschweig, Braunschweig, ²Institut für Weltraumforschung der ÖAW, Graz, Österreich, ³Magson GmbH, Berlin, ⁴ESA, Darmstadt, ⁵Kyung Hee University, Suwon, Korea, Republik

Space Weather oder der Einfluss von Sonnenaktivität und Sonnenwind auf die Erd-Magnetosphäre ist ein wichtiger Aspekt für Satelliten-Kommunikation und Navigation. Die permanente Überwachung der Space Weather Parameter durch Satelliten ist ein Schwerpunkt im ESA-Programm.

In diesem Rahmen wurde ein System mit vier Magnetfeldsensoren entwickelt, welches ohne große Anforderungen an den Satelliten eine kontinuierliche, genaue Messung des Magnetfeldes im Weltraum ermöglicht.

Grundsätzlich ist die Messung an Bord eines Satelliten beeinflusst durch die AC-Störungen der Raumsonde. Das lässt sich nur mit strengen (kostspieligen) Auflagen für magnetische Reinheit der Raumsonde und aufwendigen Analyse- und Korrektur-Verfahren der Daten vermeiden.

Das System SOSMAG verwendet 4 Sensoren, wovon 2 im Inneren der Raumsonde zur Erfassung der AC-Störungen und 2 auf einem kurzen Ausleger (Boom) für das Weltraum-Feld positioniert sind. Spezielle Kombination der Messwerte an allen Sensoren erlaubt nun, den AC-Einfluss der Raumsonde aus den Magnetfelddaten zu eliminieren. Nach einer Anlernphase und Bestimmung der Korrektur-Faktoren on-ground, läuft die Korrektur automatisch am Onboard-Computer und nur die korrigierten Daten werden zur Erde übertragen. Die erzielbare Genauigkeit erlaubt die permanente Überwachung des Magnetfeldes für Space Weather Monitoring (im AC Bereich ~ 1 nT).

Die Entwicklung von SOSMAG wird von der ESA finanziert; das erste Flugmuster ist Teil des Korean Space Weather Monitors (KSEM) an Bord der Raumsonde Geokompsat GK-2A, gestartet am 4. Dez. 2018, nunmehr in geostationärer Position mit geographischer Länge 128° (Korea). Die Inbetriebnahme war erfolgreich und die ersten Daten sind vielversprechend.

SOSMAG bietet damit eine wichtige Möglichkeit, Magnetfelddaten guter Qualität zu erhalten, auch auf Satelliten, welche nicht direkt für wissenschaftlich Zwecke entwickelt wurden. Die große Hürde der magnetischen Reinheit wird mit SOSMAG erfolgreich vermieden und ermöglicht die Installation von Magnetometern als "Rucksack" auf beliebige Raumsonden.

Die Vermessung der magnetischen Welten: Von Planeten bis Nanopartikel // Poster

S1-P.01

Significance and origin of magnetic susceptibility anisotropy in salt rocks

V. Schmidt, F. C. Heinrich

Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster

The magnetic properties of rocks are usually dominated by a small amount of micrometer-sized mineral grains, but their importance for geosciences is much larger. The anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) is often used to characterize rock deformation. It reflects the alignment of minerals and can therefore help to detect deformation in numerous rock types. Only recently, AMS was first used to investigate deformation in salt rocks. Since the main minerals in salt rocks halite and sylvite are isotropic, the AMS is expected to be very weak and hard to quantify. Potentially, several anisotropic accessory minerals such as magnetite, hematite and clay minerals could generate it. The AMS is therefore dependent on mineralogical composition and not only on deformation or grain alignment. A good understanding of the factors influencing the AMS in salt rocks is necessary to interpret its values properly and to evaluate their significance.

We have measured the AMS of different salt rocks from the mine Sondershausen (Thuringia) and investigated its significance, mineralogical origin and relationship to deformation. The samples are from the Stassfurt series (Z2) of the Upper Permian (Zechstein). We have measured low-field magnetic susceptibility and its anisotropy as well as IRM acquisition curves, high-field anisotropy and magnetic hysteresis. In addition, mineralogical composition and crystallographic preferred orientation were analyzed for selected samples. Repeated measurements proved a significant AMS even in some samples with negative susceptibility. The AMS of several neighbored samples is similar, which shows that the AMS is characteristic for a larger rock volume. High-field (max. 1.5 T) measurements detected a paramagnetic contribution to the AMS, indicating alignment of phyllosilicates. Comparison of AMS from differently deformed areas suggest a relationship between AMS and large-scale deformation, which could be exploited for tectonic studies.

S1-P.02

Development of an unmanned aircraft system (UAS) for autonomous airborne magnetic investigation

P. O. Kotowski, A. Weyers, M. Becken, V. Schmidt, J. Schmalzl, B. Bömer, J. Weßel

Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster

Since the wide availability of powerful unmanned aerial vehicles (UAVs) like multicopters, they have become an efficient tool also for geophysical surveying. Several light-weight geophysical sensors have been developed, which can be attached to an UAV and enable prompt data acquisition. However, the aerial vehicle and the airborne acquisition mode can have large influences on the data, in particular for magnetic or electromagnetic measurements. Typical issues in magnetic surveys are effects of sensor

orientation, electromagnetic noise of the UAV, as well as variable magnetic fields according to the relative position of sensor and UAV. Therefore, heading error correction and other calibrations of the system have to be applied.

We have developed an unmanned aircraft system (UAS) consisting of a DJI Spreading Wings S1000+ octocopter with a modified Raspberry Pi 3B+ 24-bit logging device and a Bartington Mag-03 three-axis fluxgate sensor. The goal for this set-up is to develop a cost-efficient robust UAS for further geophysical measurements. We have investigated certain kinds of UAS-related noise, in order to be able to make appropriate corrections to magnetic field data. We have accomplished a sensor calibration, which leads to a standard deviation of total magnetic field data of <1 nT after calibration and have compensated for heading errors leading to an attitude influence down to 10 nT. So far our UAS facilitates fast airborne magnetic investigation of multicopter-accessible areas and the localization of magnetic anomalies with large or medium magnitude.

S1-P.03

Vergleich von aeromagnetischen Messungen einem Hexacopter mit Messungen am Boden über einer mit Munition belasteten Testfläche

J. B. Stoll¹, C. Virgil², C. Kulücke², A. Hördt², T. Kordes³, R. Nöllenburg³

¹Mobile Geophysical Technologies, Celle, ²TU Braunschweig, Braunschweig, ³aerialis GbR, Bremerhaven

In den vergangenen Jahren haben mehrere Hersteller von Magnetometern für die Geophysik ihre Sensoren in geeigneter Weise modifiziert, um sie für die Integration auf Drohnen attraktiv zu machen. Je nach Magnetometertyp wiegen die Drohnen-tauglichen Instrumente von ca. 1kg bis 5kg. Da das Abhebeweight der meisten Multicopter zwischen 4-10 kg liegt, ist neben der Gewichtsreduktion des Instruments auch die Verringerung der Stromaufnahme ein wesentliches Kriterium, um zusätzliche Last für die Stromversorgung einzusparen. Weiter spielen auch die Aufhängung des Instruments und dessen Abstand unter dem Multicopter eine wichtige Rolle, um den elektromagnetischen Noise der Elektromotoren auf einen akzeptablen Level reduzieren zu können.

Während es zweifelsfrei inzwischen viele Beispiele für geomagnetische Messungen mit Drohnen von sehr starken magnetischen Anomalien mit Magnituden von mehreren hundert oder tausend Nanotesla gibt, stellt sich jedoch die Frage nach der unteren Meßgrenze, z.B. von sehr kleinen ferromagnetischen Objekten.

Das Problem ist zweifach: Zum einen geht es um die Bestimmung der Detektionsgrenze des Meßsystems unter Flugbedingungen. Zweitens stellt sich die Frage, mit welcher Genauigkeit eine räumliche Zuordnung von Objekten aus den magnetischen Messungen auf dem Multicopter möglich ist.

Wir haben magnetische Messungen auf einer ca. 1 Hektar großen Fläche sowohl aus der Luft mit einem Multicopter als auch am Boden durchgeführt. Auf dieser Fläche sind mehr als 50 Munitionsobjekte unterschiedlichster Größe in verschiedenen Tiefen vergraben und ihre Position und Lage zentimetergenau vermessen worden.

Zum Einsatz kamen mehrere Fluxgate-Sensoren. Die Messungen wurden auf einem sehr dichten Meßnetz zum einen mit einem 5kg Hexacopter und dann zu Fuß durchgeführt. Es zeigt sich, daß die aeromagnetische Messungen mit dem Multicopter noch Objekte der Größe von 7 cm nachweisen können. Die Positionsgenauigkeit lag in der Regel unter 1 m.

S1-P.04

Constructing global geomagnetic field models with paleomagnetic data and magnetic signals from ^{10}Be cosmogenic radionuclide production rates

S. Panovska, M. Korte, N. Nowaczyk

Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam

Reconstructions of the geomagnetic field on long timescales are important to understand the geodynamo processes in the Earth's core and validate the field behaviour observed in numerical simulations. Our knowledge of the long-term changes has greatly improved with two recent models covering the past 100 ka, and the Laschamp (41 ka) and Mono Lake (34 ka) geomagnetic excursions. For this purpose, over 100 paleomagnetic sediment records and volcanic data covering the past 100 ka have been compiled. Variations in production of cosmogenic radionuclides, such as ^{10}Be , from ice cores and sediments provide an independent proxy of geomagnetic field intensity variations for a range of timescales. A dataset of more than 40 globally distributed cosmogenic ^{10}Be is used to build a model of the geomagnetic field jointly with paleomagnetic data. Locations that provide both types of data are used to test the advance/delay of global dipole moment lows/highs. During the past 100 ka, the Laschamp excursion is found globally in individual paleomagnetic sediment records, as well as in the ^{10}Be records represented with the highest peak in production rates. The spherical harmonic analysis technique is employed to develop the models, and magnetic signals from ^{10}Be cosmogenic radionuclides are treated as relative intensities and calibrated within the inversion. The geomagnetic field from two models, based on paleomagnetic data only and including ^{10}Be records, are compared in order to investigate the influence of the cosmogenic isotopes on the modelling results. Using the models, we studied the dipole moment variations over the past 100 ka, the paleosecular variation activity, the time-averaged field, and the evolving structure at the core-mantle boundary. Axial dipole moment variations are compared to the available global and regional stacks, e.g., GLOPIS-75 and PISO-1500, and global models.

S1-P.05

Chemical Remanence in Sediments

S. C. Roud, S. A. Gilder

Ludwigs-Maximilians-Universität München, München

Sediments provide nearly continuous records of geomagnetic field behavior that shape our understanding of the history of the Earth's magnetic field. Sedimentary records also provide important age control, which allows one to globally correlate archives of magnetic field reversals, excursions and/or paleointensity variations. A crucial precondition is that the magnetization was acquired coevally with the age of the sediments. Greigite is a ferrimagnetic Fe-sulfide that commonly forms during early diagenesis, hence diachronously with the age of the sediments. Therefore, when the greigite particles grow through their blocking volume, they acquire a chemical remanent magnetization (CRM) that records a magnetic field different than the field existing when the sediments were deposited. On the other hand, in certain anoxic environments, greigite may form in the water column and actually contribute to a primary detrital

remanent magnetization (DRM). One problem is that greigite is difficult to identify using standard rock magnetic methods and another problem is to distinguish greigite that records a DRM versus greigite that records a CRM. We are working on methods to discriminate these phenomena. Here, we report laboratory greigite growth experiments together with rock magnetic measurements from Bermuda Rise sediments (North Atlantic Ocean, ODP site 1063) where we identified previously overlooked greigite-bearing horizons that are associated with glacial events.

S1-P.06

Using local-time dependence to improve automated detection of Sudden Storm Commencements (SSC) combining a set of ground based magnetic observations

H.-P. Brunke, M. Korte

GFZ, Sec 2.3, Potsdam

In geomagnetic observations, abrupt enhancements in the horizontal magnetic field often precede a geomagnetic storm. This phenomenon is referred to as Sudden Storm Commencement (SSC). It is caused by an abrupt increase of the Chapman-Ferraro currents in the magnetopause, due to a boost of the dynamic pressure of the solar wind. SSCs play an important role in space weather forecasting using ground based observations. SSCs can easily be recognized by visual inspection in the magnetogram. The automated detection is still a challenge.

In order to automatically detect SSC patterns in a time series, we have identified a set of independent parameters like step amplitude, slope, deviation from a step function, deviation of a mean value before and after the step and further parameters, also concerning the short term spectral content of the time series. Using data known to contain an SSC signal and other known not to, we produce two point clouds in the parameter space. We investigate the distribution of both point clouds with respect to each other. The aim is to find a hyper-surface best separating them. This allows distinguishing between SSC and no SSC. We implemented a method closely related to the algorithm called "Support Vector Machine", known in the field of machine learning. Even though we reach a good selectivity, a perfect separation of SSC and non-SSC signals cannot be expected. The transition between SSC and no SSC is fluent. The method allows quantifying the reliability of a certain match by means of a percentage value. This allows raising an alarm if the reliability measure of a detection surpasses a certain percentage.

In order to further improve the method, we investigated the local time dependence of the SSC amplitude in observations around the world by means of a principal component analysis (PCA) of observatory data (INTERMAGNET). We found a pattern common to most SSC events: Particularly strong SSC signals at morning time and a suppressed, even sometimes reversed signal in the late afternoon.

We combine data of many observatories around the world into a single time series by means of a weighted stack, with weights depending on the local time of each

observatory. The resulting time series can be used as improved input to our SSC detection, because it focuses on the SSC source and damps out other signals. In order to assess the success of the method objectively we apply it to data of one year and compare results to confirmed SSCs.

S1-P.07

The Magnetopause Location as Monitor for Solar Wind Upstream Conditions at Mercury

J. Z. D. Mieth, K. Ostaszewski, D. Heyner, K.-H. Glassmeier

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

Knowledge about the location of the magnetopause at Mercury enables one to constrain the solar wind upstream conditions. With a single spacecraft such as the NASA-MESSENGER (MErcury Surface, Space ENvironment, GEOchemistry, and Ranging) probe, these conditions are inaccessible once having entered the magnetosphere. Here, we perform a statistical analysis on the magnetopause location as determined by the MESSENGER mission from magnetic field data. We focus on the nightside magnetopause crossings, as these are especially susceptible to changes in the solar wind velocity. An average of the solar wind speed, especially the radial component, over a short period of time is determined from our analysis and compared to the well-known ENLIL heliospheric modelling results. In addition to the known inner- and outermost magnetopause crossing locations from the MESSENGER mission, we use a machine learning (ML) algorithm to find further crossings in between. As a basis for the ML algorithm, several thousands of mid-tail crossings measured by the ARTEMIS (Acceleration, Reconnection, Turbulence and Electroynamics of the Moon's Interaction with the Sun) mission at Earth are used to obtain a principle magnetic signature of a crossing. This model is then transferred to the mercury system. This enhances the statistics on the short-term variability of the solar wind at Mercury.

S2-1.01

Strukturinterpretation reflexionsseismischer Daten für die Endlagerauswahl von radioaktiven Stoffen

C. Eichkitz, M. Schreilechner

Geo5 GmbH, Leoben, Österreich

Die Interpretation dreidimensionaler reflexionsseismischer Daten ist die Basis für die Strukturerkundung von möglichen Standorten für die Endlagerung radioaktiver Stoffe. Das Wissen über die Lage und das Vorhandensein von geologischen Strukturen wie Störungen, Klüfte und Verkarstungen ist für die Sicherheit von Endlagern von großer Bedeutung. Im Zuge der Interpretation von 3D Seismikdaten liegt der Fokus daher auf der Strukturinterpretation. Bei gutem Signal-Rausch-Verhältnis kann für das Auflösungsvermögen im vertikalen Bereich von einem Viertel der Wellenlänge und nach Migration der Seismikdaten auch im horizontalen mit derselben Größenordnung (Rayleigh Kriterium) ausgegangen werden. Der CDP-Abstand in einer 3D Seismik bestimmt zusätzlich das Abbildungsvermögen von geologischen Strukturen, vor allem von Strukturen deren Ausdehnung im Größenbereich des CDP-Abstands liegen (Kleinstrukturen). Daher ist es bei der Interpretation von Amplituden-Daten oft sehr schwierig geologische Kleinstrukturen verlässlich zu erkennen. Mit Hilfe verschiedenster seismischer Attribute ist es möglich die Interpretationsarbeit wesentlich zu (unter)stützen und abschnittsweise detaillierter durchzuführen. Coherence- und Curvatureattribute sind die klassischsten Anwendungen für die Unterstützung in der Strukturinterpretation. Mit Hilfe einer spektralen Zerlegung des Wellenfeldes in einzelne Frequenzbereiche können tiefenabhängig Interpretationen von Kleinstrukturen besser diskutiert werden. Die Ergebnisse der Interpretationsarbeit seismischer Daten sind wesentlich vom Image der Datenbearbeitung abhängig. In einer Vorauswahl verschiedenster Processingergebnisse muss festgelegt werden, welcher Datensatz für die Strukturinterpretation am besten geeignet ist, bzw. welche Processing Schritte bewusst oder auch unbewusst geologische Strukturen unterdrücken oder auch verstärken. Der Vergleich von Interpretationen von Amplitudendaten verschiedener Processingergebnisse mit den Auswertungen von seismischen Attributen, wiederum auf verschiedenen Processingergebnissen, bildet eine breite Basis in der Beschreibung geologischer Strukturen deren Größe an der Grenze des seismischen Auflösungsvermögens liegen.

S2-1.02

Seismisches Monitoring des Mont Terri Felslabors

P. Blascheck¹, A. Brüstle^{2,3}, M. Walter³, R. Häfner^{1,3}, M. Joswig¹

¹Universität Stuttgart, Institut für Geophysik, Stuttgart, ²jetzt Erdbebendienst Südwest, Freiburg, ³Seismic Solutions GbR, Tübingen

Die Erfassung und Beurteilung der natürlichen Hintergrundseismizität in der unmittelbaren Umgebung von potentiellen Endlagern radioaktiver Abfallstoffe ist bei der Suche nach geeigneten Standorten essenziell. Seismisches Monitoring dient dabei

unter anderem der Verifizierung der Abdichtung durch überlagernde Schichten. Im Mont Terri Felslabor (Schweiz) soll die Eignung von Opalinuston als Wirtsgestein für die Lagerung von radioaktiven Abfallstoffen untersucht werden. Im Jahr 2014 begann die seismische Überwachung des unmittelbaren Umfeldes des Felslabors durch die Universität Stuttgart mittels Nanoseismic Monitoring, dies wurde seit 2016 von Seismic Solutions weitergeführt.

Der Untersuchungsbereich wurde mit vier Miniarrays instrumentiert, zwei davon wurden unterirdisch jeweils im Felslabor und im Zugangstunnel installiert. Es konnten Beben bis zu Magnituden von $M_1 -2$ detektiert werden. Die Vollständigkeitsmagnitude der öffentlichen Bulletins konnte damit im Untersuchungsbereich von $M_C 2$ auf $M_C 0.5$ gesenkt und der Katalog damit um mehr als 50 Ereignisse im Untersuchungsgebiet erweitert werden.

Mehrere Ereignisse wurden entlang des Tunnelverlaufs lokalisiert oder konnten bekannten Verwerfungen zugeordnet werden. Wir zeigen die Vorteile, die ein Monitoring mittels Kleinarrays speziell im Kontext der Endlageruche bietet.

S2-1.03

Georadar zur Erkundung der Internstrukturen im Salz der Schachanlage Asse II, dem Endlager Morsleben und dem Salzstock Gorleben

V. Gundelach, I. Ozer, A. Kellner

BGR, Hannover

Die Messmethode Georadar eignet sich im Salz aufgrund der üblicherweise geringen Leitfähigkeit und damit verbundenen hohen Eindringtiefe hervorragend zur Strukturerkundung des inneren Aufbaus von Salzstrukturen. Bei der Erkundung der Salzstruktur Gorleben wurde als geophysikalische Methode nach der Oberflächenseismik in den Tiefbohrungen Georadar eingesetzt. Auf der Basis dieser Ergebnisse konnten erste geologische Detailansichten konstruiert werden. Begleitend zu den folgenden Auffahrungen der Schächte und Strecken wurde weiter Georadar angewandt und konnten so die aufgeschlossenen Strukturen im geologischen Modell über mehrere hundert Meter ins Gebirge fortgesetzt werden. Zusätzlich wurden richtungssensitive Bohrlochantennen eingesetzt, die auch in den untertägigen Erkundungsbohrungen weitreichende räumliche Strukturinformationen liefern konnten.

Das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) befindet sich in der Salzstruktur der Allertalzone. Hier soll der Internbau der Salzstruktur ausreichend erfasst werden um für den Verschluss des ERAM alle Szenarien abdeckend zu können. Aus den Auffahrungen der Strecken in der Betriebsphase des ERAM, durch Erkundungsbohrungen und Georadar-Messungen in den 90er Jahren konnten bereits umfangreiche Strukturinformationen gewonnen werden. Verbesserungen in der Datenerfassung und Auflösung haben es möglich gemacht die Verteilung und Ausdehnung der Strukturen genauer zu bestimmen. Vorrangig mit geschirmten Antennen der Mittenfrequenz von etwa 70 MHz wurde in den letzten vier Jahren fast die gesamte westliche Grube mit Profilen belegt. So konnte der Aufbau der Westflanke

genauer belegt werden, die Lage des Salzspiegels wurde bestätigt und die Anhydritverteilung besser beschrieben. Dort, wo die Leitfähigkeit erhöht war, wurden ergänzend Geoelektrik-Messungen durchgeführt.

In der Salzstruktur um die Schachanlage Asse II werden zurzeit die existierenden geologischen Strukturinformationen ergänzt und überarbeitet. Hierzu wurden in den vergangenen fünf Jahren alle verfügbaren Streckenabschnitte des Grubengebäudes durch Georadar gemessen. Die ebenfalls in dem Zeitraum durchgeführten Erkundungsbohrungen wurden durch richtungssensitive Georadar-Bohrlochmessungen der Mittenfrequenzen 50 und 250 MHz begleitet. So konnten umfangreiche räumliche Strukturinformationen gewonnen werden, die es erlauben ein detailliertes geologisches 3D Modell zu konstruieren.

S2-2.01

Seismische Reichweitenuntersuchungen und Tomographiemessungen in der Schachanlage Asse II

T. Fechner¹, D. Orłowsky², U. Swoboda², D. Kemmler³, M. Sniehotta³

¹Geotomographie GmbH, Neuwied, ²DMT GmbH & Co. KG, Exploration und Geosurvey, Essen, ³BGE Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH, Schachanlage Asse II, Remlingen

Im Auftrag der Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) führte die ARGE STA (bestehend aus der DMT und Geotomographie) im Mai 2018 seismische Messungen auf einem Streckenabschnitt der 595m-Sohle der Schachanlage Asse II durch. Bei den Untersuchungen wurden verschiedene seismische Messsysteme auf ihre Eignung für geplante untertägige, großflächige tomographische Erkundungen getestet. Die Kampagne gliederte sich in die folgenden Teilmessungen:

- Reichweitentests aus Bohrlöchern heraus zur Feststellung der Eignung der zu testenden Messsysteme bei großen räumlichen Abständen,
- tomographische Erkundungen (Crosshole-Tomographie) von drei Ebenen, die von jeweils zwei Bohrungen aufgespannt wurden,
- Hammerschlagseismik entlang eines Streckenprofils von 130 m Länge entlang der Sohle innerhalb des Testbereichs.

Der Reichweitentest bestand aus einer Messung der Abnahme der Signalamplituden mit steigender Entfernung zwischen jeweiliger Quellposition in Abhängigkeit zum seismischen Empfänger. Im Vorfeld der Messungen wurden zehn leicht geneigte Kurzbohrungen entlang des Streckenstoßes der 595mS mit unterschiedlichen Abständen zueinander erstellt, aus denen heraus der Reichweitentest und die tomographischen Untersuchungen erfolgten. Zur Generierung von seismischen Signalen in den Bohrungen wurden zwei unterschiedliche seismische Quellen eingesetzt. Als seismische Quelle dienten zum einen ein Bohrlochhammer des Typs BIS-SH, der in trockenen sowie in laugengefüllten Bohrungen eingesetzt werden kann, sowie ein Bohrlochsparker vom Typ SBS42, der in laugengefüllten Bohrungen Verwendung findet. Der Reichweitentest zeigte, dass sowohl P- als auch S-Wellen mit guter Datenqualität über Entfernungen von > 130m übertragen werden können. Zwischen drei Bohrlochpaaren wurden tomographische Messungen durchgeführt,

welche die flächenhafte Verteilung von seismischen Geschwindigkeiten (P- und S-Wellen) in den aufgespannten Ebenen zwischen je 2 Bohrungen zeigten. Unter Verwendung dieser Kompressions- und Scherwellengeschwindigkeiten können neben den Strukturen im Salz auch dynamische Gesteinsparameter abgeleitet werden.

S2-2.02

In-situ Acoustic Emission monitoring during two gas and brine loading experiments in Salt Rock

K. Plenkers¹, J. Philipp¹, D. Dörner¹, W. Minkley², T. Popp², M. Wiedemann²

¹GMuG, Bad Nauheim, ²Institut für Gebirgsmechanik, Leipzig

In this study we present details on the seismic rock response of salt rock during a large-scale gas injection experiment and a follow-up brine injection experiment in a large-diameter borehole. The experiments were conducted at the underground test site Springen in the Merkers Salt Mine/Germany. Seismic events with very low Magnitudes are recorded using In-situ Acoustic Emission (AE) monitoring.

Overall the temporal-spatial distribution of AE events (picoseismicity) gives detailed information on dynamic processes in all stages i.e. the background seismicity, the formation of the excavation damage zone and the rock response to temperature and humidity supply.

In the first experiment more than five million seismic events were recorded during pre-excavation, excavation of the large-diameter borehole, partial backfill with MgO- and Brucite concrete and gas-pressure loading. While most events have their origin at or close to the surface to the large-diameter borehole also AE events from ongoing damage processes at gallery boundaries can be observed. Most importantly it is shown that the AE monitoring could observe a slow penetrating migration front of brine and gas into the rock salt after the minimal stress in the rock was exceeded. Only very weak AE events outline the migration front corresponding to fracture sizes close to grain sizes. No indications for the occurrence of larger seismic events that can explain the opening of the pathway alone were found. It is therefore concluded that the recorded AE activity is the side effect of gas and fluid migration by pressure driven percolation.

In the second experiment the large-diameter borehole was filled with brine and then pressurized. The AE sensor network was improved to provide an even higher sensitivity than in the first experiment. The results of the second experiment give additional information on the background seismicity and the rock response to brine filling. Again slow-moving migrations fronts of AE activity are observed at high pressures.

S2-2.03

Ultraschallmessungen zur Qualitätssicherung von Verschlussbauwerken in Endlagern

E. Niederleithinger¹, F. Mielentz¹, U. Effner¹, C. Friedrich², R. Mauke²

¹Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Fachbereich 8.2

"Zerstörungsfreie Prüfverfahren für das Bauwesen", Berlin,

²Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH, Salzgitter

Die Sicherung von unterirdischen Endlagern für radioaktive Abfälle erfordert zuverlässige, impermeable Verschlussbauwerke. In Deutschland gibt es dazu seit einigen Jahren Versuche mit Salzbeton in Realgröße. Nach den bisherigen Ergebnissen erfüllen diese die Erwartungen hinsichtlich Permeabilität und Stabilität. Allerdings zeigten sich schon früh mehr und größere Risse als erwartet.

BAM und BGE untersuchen seit einigen Jahren verschiedene konventionelle und neuartige Ultraschall-Messverfahren auf ihre Eignung zur Rissdetektion und Qualitätssicherung. So konnten mit kommerziellen Geräten bis in eine Tiefe von zwei Metern Risse, Objekte und Delaminationen detektiert und abgebildet werden. Mit einer neuartigen Apparatur (LAUS) wurden Eindringtiefen bis über neun Meter erreicht. Dabei wurden auch geophysikalische Abbildungsverfahren eingesetzt.

Zusätzlich wurde eine Bohrlochsonde entwickelt, die in Reflektions- und Transmissionsmodus in bis zu 30 m tiefen Bohrlöchern einsetzbar ist. Sie nutzt wie die sonst von der Oberfläche aus eingesetzten Ultraschall-Apparaturen Scherwellen im Bereich 25 kHz bis 75 kHz. Mit ihr konnten im Reflektionsmodus Risse in bis zu zwei Meter Entfernung abgebildet werden.

Die Resultate wurden durch Bohrungen und Endoskopie weitestgehend verifiziert. Die Forschung an der apparativen und methodischen Verbesserung wird fortgesetzt.

S2-2.04

Monitoring of dynamic processes in salt mines by the application of In-Situ Acoustic Emission monitoring technology

J. Philipp¹, K. Plenkens¹, G. Gärtner², L. Teichmann³

¹GMuG, Bad Nauheim, ²BGE, Salzgitter, ³BGE, Remlingen

Investigation of dynamic processes to allow for evaluation of mine integrity is a major task in mines, but even more in underground repositories for nuclear waste. Several geotechnical methods as well as micro-seismic monitoring are commonly in use.

Here, we demonstrate the potential of In-Situ Acoustic Emission (AE) networks in salt rock. We present data from an AE monitoring project in the German salt mine Asse II. The monitoring network was installed to monitor the integrity of two galleries at 490 m depth. We find that the AE network is capable to monitor successful seismic activity in a rock volume of more than 100m dimension in the frequency range between 1 and 100 kHz. While the majority of AE events are originated within 30m distance to the AE network also very small seismic events are detected at distances of up to 150 m from the network.

The results show that in this study area AE activity is mostly correlated to geological boundaries or foliation planes that are subject to convergence processes. In addition AE activity is detected in rather homogenous rock volumes indicating zones of dilatancy stress.

We conclude that AE monitoring is a valuable tool in salt mines to detect potential areas of future instability, before damage is visible.

S2-3.01

Anwendung seismischer Abbildungsverfahren auf Ultraschall-echo-Daten von Verschlussbauwerken unter Tage

C. Büttner¹, E. Niederleithinger², S. Buske¹, C. Friedrich³

¹TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik, Freiberg,

²Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin,

³Bundesgesellschaft für Endlagerung, Peine

Das Stilllegungskonzept des Endlagers für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) beinhaltet den Bau von Abdichtbauwerken. Zum Nachweis der technischen Machbarkeit und Funktionsfähigkeit wurde durch die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE) ein Abdichtbauwerk als in-situ-Versuch im Realmaßstab errichtet. Hierfür wurde eine bergmännische Auffahrung mit Salzbeton verfüllt. Zusätzliche in regelmäßigen Abständen eingebaute Trennbleche sollen der Ausbreitung eventueller Risse entgegenwirken.

Das Versuchsobjekt wurde mit Ultraschallmessungen bezüglich der Lage und Orientierung möglicher Risse untersucht. Diese Messungen wurden an der Stirnfläche des Salzbetonkörpers durchgeführt. Für die Datenakquisition fand ein neuartiges Messsystem Anwendung, mit welchem ein seismisches Akquisitionsschema realisiert werden kann. Dieses setzt sich aus mehreren Prüfköpfen zusammen, welche sowohl als Sender als auch als Empfänger fungieren. Somit lassen sich auch größere Sender-Empfänger-Abstände realisieren.

Vor der Bearbeitung der realen Messdaten wurde ein realitätsnahes synthetisches Modell erstellt, mit welchem die Abbildung eines Risses, eines eingebauten Monitoring-Instruments sowie des ersten Trennbleches in einer Tiefe von 8 m untersucht wurden. Die generierten synthetischen Daten wurden nach minimaler Preprozessierung mittels Kirchhoff-Prestack-Tiefenmigration sowie Reverse Time Migration (RTM) in Tiefensektionen umgewandelt. Insbesondere bei der Abbildung steilstehender Reflektoren lieferte die RTM hier ein besseres Ergebnis.

Im Anschluss wurden reale Messdaten in der gleichen Weise bearbeitet. Zusätzlich wurden die Ergebnisse mit denen der Synthetic-Aperture-Focusing-Technique (SAFT) verglichen. Dieses Verfahren ist der Kirchhoff-Migration sehr ähnlich und findet in der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung routinemäßig Anwendung. Es stellte sich heraus, dass der RTM Algorithmus in einigen Fällen ein realitätsnäheres Abbild liefert. Die Resultate von Kirchhoff-Migration und SAFT-Rekonstruktion sind hingegen sehr ähnlich. Alle Verfahren lokalisierten in gleicher Weise Risse in verschiedenen Tiefenlagen, welche hauptsächlich oberflächenparallel orientiert sind. Diese werden auch von Bohrungen bestätigt. Besonders herauszustellen ist die deutliche Abbildung des Trennbleches in großer Tiefe, was bisher noch nicht eindeutig gelungen war.

S2-3.02

Tiefe Bohrlöcher als Endlager für hochradioaktive Abfallstoffe? - Ergebnisse des Forschungsprojektes CREATIEF

T. Rosenzweig¹, W. Bollingerfehr², C. Dieterichs³, M. Herold², W. Kudla¹, M. Reich³

¹Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Bergbau und Spezialtiefbau, Freiberg, ²BGE TECHNOLOGY GmbH, Peine,

³Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau, Freiberg

Mehr als 30 Länder nutzen derzeit die Kernenergie weltweit zur Stromerzeugung. In nahezu allen Ländern gibt es Überlegungen, wie radioaktive Abfälle langzeitsicher entsorgt werden können. In Finnland wurde 2015 bisher als erstem und einzigen Land weltweit eine Genehmigung zum Bau eines Endlagers für wärmeentwickelnde ausgediente Brennelemente erteilt. In Deutschland wurde von Anfang an für die Entsorgung wärmeentwickelnder, radioaktiver Abfallstoffe und ausgedienter Brennelemente die Endlagerung in einem Bergwerk favorisiert. Im Forschungsvorhaben CREATIEF (Untersuchungen zu Chancen und Risiken der Endlagerung wärmeentwickelnder radioaktiver Abfälle und ausgedienter Brennelemente in tiefen Bohrlöchern) wurde die Endlagerung von hochradioaktiven, wärmeentwickelnden Abfällen und ausgedienten Brennelementen in Bohrlöchern mit einer Tiefe von 3000 m bis 5000 m im Kristallingestein mit folgenden Zielen untersucht:

- Analyse der in vorhandenen Forschungsberichten getroffenen Annahmen/Randbedingungen,
- Beschreibung der wesentlichen Eckpunkte bei einer Endlagerung in tiefen Bohrlöchern und Aufzeigen eines möglichen Verbesserungspotentials,
- konzeptionelle Gesamtbewertung von Chancen und Risiken.

Im Zuge der Bearbeitung des Forschungsvorhabens wurden zwei geologische Profile definiert, die als Referenz für mögliche geologische Verhältnisse in Deutschland bei den weiteren Überlegungen dienen. Nach der Entwicklung der geologischen Profile wurde der Stand der Technik der konventionellen Tiefbohrtechnik der Öl- und Gasindustrie für die Bohrungen bis 5000 m Tiefe mit möglichst großem Durchmesser im Kristallin untersucht. Nach derzeitigem Stand der Technik können Bohrungen bis zu einem Durchmesser von 17,5 Zoll (44,5 cm) in 5000 m Tiefe im Kristallin hergestellt werden. Auf Basis des einzulagernden Abfallmengengerüsts wurden Betrachtungen zum Endlagerbehälter durchgeführt und dieser überschlägig bemessen. Zudem wurden zwei Konzepte für eine Endlagerung in tiefen Bohrlöchern betrachtet:

- Konzept 1: Bohrdurchmesser 17,5 Zoll (44,5 cm) in 5000 m Tiefe,
- Konzept 2: Bohrdurchmesser 35,4 Zoll (90 cm) in 5000 m Tiefe.

Abschließend wurden die Chancen und Risiken einer Endlagerung in tiefen Bohrlöchern abgewogen. Mit dem Forschungsvorhaben wurde der Wissenstand zur Endlagerung in tiefen Bohrlöchern erweitert. Allerdings kann derzeit noch keine Aussage getroffen werden, ob eine Endlagerung in tiefen Bohrlöchern eine sinnvolle Alternative zu einer Endlagerung in einem Bergwerk ist.

S2-P.01

Mikroakustische Überwachung von Mikrorissbildung im Steinsalz

D. Dörner¹, J. Philipp¹, K. Plenkers¹, W. Minkley², T. Popp², M. Wiedemann²

¹Gesellschaft für Materialprüfung und Geophysik, Bad Nauheim,

²Institut für Gebirgsmechanik GmbH, Leipzig

Zwei in-situ Experimente im Salzbergwerk Merkers, Versuchsort Springen, beschäftigen sich mit Prozessen im Salzgestein unter Druckbeaufschlagung mit Lauge bzw. Gas. Die Druckbeaufschlagung erfolgt in einem Großbohrloch (GB) mit 60 m Länge und 1.3 m Durchmesser. Unter anderem werden die Experimente mit einem mikroakustischen (In-situ Acoustic Emission, AE) Monitoring-System überwacht. Dieses Messsystem ist in der Lage, sehr schwache seismische Signale im Frequenzbereich 1 kHz bis 100 kHz aufzunehmen, welche von kleinen Brüchen im Zentimeter- oder Millimetermaßstab ausgestrahlt werden. In-situ AE Sensoren wurden dafür in Instrumentierungs-bohrlöchern in ca. 15m Distanz zum GB installiert.

Beobachtet wird die seismische Aktivität im Bereich der untertägigen Hohlräume (Hintergrundaktivität), während der Erstellung und der teilweisen Zementation des Großbohrlochs sowie während der Druckbeaufschlagung. Bei Erreichen der minimalen Gebirgsspannung werden Lauge-Gas Migrationsvorgänge beobachtet, welche sich bis zu den Instrumentierungsbohrlöchern ausbreiten.

In dieser Studie vergleichen wir die beiden unterschiedlichen Experimente im Hinblick auf die Überwachungssensitivität. Während die AE Sensoren beim ersten Experiment so angebracht wurden, dass sie das gesamte GB überwachten, wurde das Monitoring im zweiten Experiment auf ein kleineres Überwachungsvolumen im unteren Bereich des GBs konzentriert. Hierbei kamen zusätzlich neue, stirnseitig ankoppelnde, noch sensitivere Sensoren als in den Instrumentierungsbohrungen zum Einsatz.

Beim Vergleich der Monitoring-Ergebnisse der beiden Experimente zeigen sich bereits bei der erfassten Hintergrundseismizität deutliche Unterschiede. So werden beim zweiten Experiment mehr Ereignisse aus der weiteren Umgebung des Sensornetzwerkes aufgezeichnet als vorher, wodurch sich die andauernde Auflockerung der Abbaukonturen deutlicher abzeichnet als im ersten Experiment.

Während der Druckbeaufschlagung erlaubt uns das sensitivere Netzwerk im zweiten Experiment, die Prozesse mit höherer Genauigkeit und Empfindlichkeit aufzulösen. So wird z.B. der Prozess der Laugenausbreitung, durch druckgetriebene Perkolatation verursacht, wesentlich genauer beobachtet als zuvor.

Einen weiteren Fortschritt in der Beobachtung kleinster seismischer Ereignisse stellt die Auswertung kontinuierlicher Aufzeichnungen der Wellenformen dar, welche die Sensitivität noch weiter erhöht.

S2-P.02

Es bleibt SpannEnD

S. Morawietz¹, O. Heidbach¹, B. Müller², K. Reiter³, T. Röckel⁴

¹Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam,

²KIT - Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Angewandte Geowissenschaften, Karlsruhe,

³TU Darmstadt, Institut für Angewandte Geowissenschaften, Darmstadt,

⁴Ingenieurbüro Piewak & Partner GmbH, Bayreuth

Bei der Charakterisierung eines Standortes für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle spielt das krustale Spannungsfeld eine zentrale Rolle. Sowohl während der Bau- und Einlagerungsphase als auch im Hinblick auf die Langzeitstabilität eines solchen Endlagers sind Faktoren zu berücksichtigen, die durch den Spannungszustand beeinflusst sind, wie z.B. die Auflockerungszone im Nahbereich der Untertagebauten, hydraulische Durchlässigkeit des Wirtsgesteins, das Selbstabdichtungsvermögen, das Auftreten von Erdbeben oder die potentielle Reaktivierung von Störungen als Migrationswege für Fluide und Radionuklide. Daher ist die Abschätzung der rezenten Spannungsverteilung im Untergrund bereits bei der vergleichenden Bewertung potenzieller Standorte unabdingbar. Allerdings sind die verfügbaren Spannungsdatensätze in der Regel unvollständig, da aus den meisten Spannungsindikatoren nicht alle sechs unabhängigen Komponenten des 3D Spannungstensors abgeleitet werden können. Der 3D Spannungszustand einer Lokation lässt sich daher nur mittels eines geomechanisch-numerischen Modells abschätzen, welches mit Hilfe vorhandener Spannungsdaten kalibriert wurde. Aufgrund der geringen Datendichte von 0,08 Datensätze/100 km² wäre eine Modellkalibrierung auf dem Maßstab eines Standortmodells nicht möglich ist. Daher ist das Kernziel des Projekts „SpannEnD“ (Spannungsmodell Endlagerung Deutschland) die Entwicklung eines entsprechenden 3D Modells für Deutschland, um aus diesem initiale Spannungsbedingungen für regionale und lokale Modell zu generieren. Mit der World Stress Map (WSM) existiert bereits eine Datenbank von Spannungsorientierungen, aber da für die entscheidenden Aussagen zur Stabilität eines Untergrundprojektes die Differenz zwischen der größten und kleinsten Hauptspannungsmagnitudo von zentraler Bedeutung ist, sind Daten insbesondere zu den horizontalen Spannungsmagnituden notwendig. Als Grundlage der Kalibrierung des Modells gilt es daher, diese Daten zusammenzustellen und entsprechend ihrer Qualität und Aussagekraft zu gewichten. Eine erfolgreiche Modellkalibrierung ermöglicht dann auf Basis kontinuumsmechanischer Ansätze eine Prognose auch für Bereiche ohne Spannungsdaten. Wir präsentieren die erste umfassende Spannungsdatenbank für Deutschland, die Spannungsmagnituden systematisch erfasst und bereitstellt. Diese soll eine Vorlage für die Umsetzung im Rahmen des World Stress Map Projektes (www.world-stress-map.org) auf internationaler Ebene sein.

S2-P.03

Application of Array Seismology using In-situ Acoustic Emission data from an underground monitoring project

A. Pisconti¹, K. Plenkens², C. Thomas¹, J. Philipp², J. Wookey³

¹University of Muenster, Institut für Geophysik, Muenster, ²GMuG (Gesellschaft für Materialprüfung und Geophysik mbH), Bad Nauheim, ³University of Bristol, Bristol, United Kingdom

Knowing the position of lithological boundaries is important information in the mining environment. In this work we use array seismology to investigate the P-coda of high frequency acoustic emission events (picoseismicity) to test the application of array seismology techniques normally used to study the Earth' deep interior on mine scale. The 52 events studied were recorded in the Asse II salt mine in Lower Saxony (Germany) using a network of 16 piezoelectric sensors.

Many recordings of the chosen events show a pulse-like arrival in the late P coda, suggesting the presence of a well-defined reflector which scatters seismic energy. To enhance this signal we apply waveform alignment according to backazimuth and slowness. To explore the directional information of the acoustic emission signals we use the sliding time-window slowness-backazimuth analysis, performed on the envelope of the entire recordings. Strong direct P wave arrivals are clearly visible with observed slowness and backazimuth expected for a homogenous medium. This finding implies straight raypaths from event to sensors and that the medium between the events and the sensors can be considered homogeneous for wavelengths larger than about 60cm. On the late P-coda we observe out of plane arrivals from South-East and, assuming single P-to-P scattering, we find that the scatterers responsible for these observations are clustered in space defining a sharp reflector corresponding to a known lithological boundary, located at the southern flank of the salt dome. No other dominant reflectors are visible in the analyzed waveforms as expected from the geological model. We conclude that array seismology can be applied on acoustic emissions in mines to gain information on structures and heterogeneities located in the vicinity of the monitored rock volume.

S2-P.04

Verbesserte Noise-Reduktion für die Anwendung des NMR-Verfahrens unter Tage durch Berücksichtigung mehrerer räumlicher Störfeld-Komponenten

S. Costabel

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Berlin

Die magnetische Resonanzsondierung (MRS), auch Oberflächen-NMR genannt, ist als nichtinvasives hydrogeophysikalisches Verfahren innerhalb der Hydrogeologie gut etabliert. Ein neues Forschungsgebiet ist die Anwendung des MRS-Verfahrens unter Tage (underground MRS). Dabei soll MRS zur Detektion von wasserführenden Hohlräumen und Zerrüttungszonen in der Tunnelwand und somit zur Gewährleistung der Sicherheit von Untergrundbauwerken z.B. zur Endlagerung radioaktiver Abfälle eingesetzt werden. Obwohl die grundsätzliche Machbarkeit dieser Methode unter günstigen rauscharmen Bedingungen in der Fachliteratur belegt ist, ist die allgemeine

Anwendbarkeit unter Tage nach wie vor fraglich, denn bislang liegen so gut wie keine Kenntnisse darüber vor, welche Charakteristik potenzielle elektromagnetische (EM) Störquellen unter Tage im für MRS relevanten Frequenzbereich aufweisen und welche Filterverfahren dafür geeignet sind bzw. entwickelt werden müssen.

Das Signal-Rausch-Verhältnis ist insbesondere für MRS Messungen unter Tage eine enorme Herausforderung. Zum Einen erfordert der begrenzte Platz kleine Antennengrößen von wenigen Quadratmetern, was das sensitive Volumen und die Signalstärke reduziert. Zweitens müssen die Messungen in unmittelbarer Nähe von störenden Installationen erfolgen, die für Logistik und Sicherheit im Tunnel erforderlich sind. In dieser Studie wurden passive EM Messungen mit einem konventionellen MRS-Gerät im Felslabor Mont Terri in der Schweiz durchgeführt. Ziel war es, Messlayout und Signalbearbeitung im Hinblick auf eine möglichst gute Rauschunterdrückung zu testen und zu optimieren.

Es hat sich gezeigt, dass das referenzenbasierte Verfahren zur Rauschunterdrückung (RNC: reference-based noise cancellation) gegenüber anderen Methoden überlegen ist, zumindest dann, wenn mehrere orthogonale räumliche Komponenten des Störfeldes als Noise-Referenzen berücksichtigt werden. In diesem Fall werden nicht nur die störenden Multiplen der 50-Hz Netzspannung, sondern auch der allgemeine Grundrauschpegel effektiv reduziert. In dieser Konfiguration konnte das Rauschlevel in verschiedenen achtförmigen Primärspulen fast unabhängig von den zeitlichen und räumlichen Variationen des Störfeldes sehr stabil von knapp 10 auf ca. 0.1 nV/qm vermindert werden. MRS Messungen unter ähnlichen Bedingungen an der Oberfläche belegen, dass eine plausible Detektion von freiem Wasser möglich ist.

S2-P.05

Seismic characterization of clay formations – a pilot experiment in the Rock Laboratory Mont Terri, Switzerland

S. Lüth¹, B. Wawerzinek¹, R. Esefelder¹, R. Giese², C. M. Krawczyk¹

¹Deutsches GeoForschungszentrum GFZ, Sektion Oberflächennahe Geophysik, Potsdam, ²Deutsches GeoForschungszentrum GFZ, Sektion Geomechanik und Wissenschaftliches Bohren, Potsdam

In order to support the research related to the German site selection procedure for the disposal of nuclear waste in a deep geological repository, five research institutes of the Helmholtz Association joined forces within a collaborative project on “Integrity of nuclear waste repository systems – Cross-scale system understanding and analysis” (iCross). One of the requirements within the selection procedure is the comparison of the different host rock types (rock salt, crystalline and clay rock). We aim at contributing to repository system characterization and process understanding by performing interdisciplinary research from the laboratory to the regional scale, including macro-scale experiments in Underground Research Laboratories (URLs). Given the highly heterogeneous and anisotropic environment typically characterizing clay formations, such as the Opalinus Clay surrounding the Mont Terri URL, seismic characterization of such formations is challenging. Various experiments were performed in the past, mostly concentrating on characterizing the excavation damage zone (EDZ),

or on applying tomography or transmission experiments for investigating velocity variations or anisotropy parameters over a range of scales.

GFZ Potsdam has developed a modular seismic acquisition and interpretation system which is dedicated to high resolution exploration with resolution in the dm- to m-scale within an observation range of several deca- to a few hundreds of meters. In the context of tunnel construction, the management of mining activities, and the exploration around galleries in salt mines, this system was operated successfully in different geological environments including crystalline and sedimentary settings, such as hard-rock tunnelling in the Swiss Alps or for tomographic EDZ and excavation monitoring in the German Erzgebirge region.

The principal aim of the Mont Terri experiment was to investigate the applicability of the system for characterization and monitoring in argillaceous environments which are amongst potential settings for future nuclear waste disposal sites in Germany. Three source types with different signal characteristics were tested in the January 2019 pilot survey. Here, we will present initial experiences gained in this survey.

S2-P.06

Reichweiten- und Parametertests für radartomographische Untersuchungen in der Schachanlage Asse II

P. Lehmann¹, M. Opelt¹, C. Schreiber¹, T. Richter¹, K. Lorenz², D. Kemmler³

¹Bo-Ra-tec GmbH, Weimar, ²Geophysik Support, Steinbach,

³BGE Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH, Schachanlage Asse II, Remlingen

Vorlaufend zu den geplanten tomographischen Messungen in langen horizontalen Bohrungen zur Erkundung des Salinargebirges im Bereich der zukünftigen Infrastrukturräume um den Schacht 5 und der aufzufahrenden Verbindungsstrecken zum Grubengebäude der Schachanlage Asse II führte die Fa. Bo-Ra-tec GmbH Weimar im Auftrag der Bundesanstalt für Endlagerung (BGE) Bohrloch-Radar-Messungen im Reflexions-, Crosshole- und tomographischen Modus in und zwischen zehn ca. 15 m langen, gering geneigten Horizontalbohrungen in einer Strecke auf der 595-m-Sohle der Schachanlage Asse II durch. Die parallelen Bohrungen spannten dabei unterschiedliche Entfernungen zwischen minimal 2,5 m und maximal 130 m auf.

Das Ziel dieser Untersuchungen konzentrierte sich auf folgende Schwerpunkte:

- a) Reichweite-Test- und Kalibriermessungen mit unterschiedlichen Antennensystemen im Frequenzbereich zwischen 20 MHz und 1000 MHz;
- b) Untersuchung des Einflusses von Feuchtigkeit und Lauge auf die maximal erzielbaren Erkundungsreichweiten;
- c) Durchführung von tomographischen Detailmessungen zwischen ausgewählten Bohrloch-Paaren mit dem Ziel der Abschätzung der Auflösung von Strukturelementen. Die Reichweiten- und Parametertests wurden mit Antennensystemen der Mittenfrequenzen 20, 100, 250, 500 und 1000 MHz durchgeführt. In Abhängigkeit von der Mittenfrequenz des Antennensystems wurden die maximalen Erkundungsreichweiten anhand von Crosshole-Messungen bestimmt, indem kontinuierliche Messungen mit wachsendem Abstand zwischen der Transmitter- und Receiver-Bohrung durchgeführt wurden.

Um den Einfluss von Lauge und Feuchtigkeit auf die maximal erzielbare Reichweite zu bestimmen, wurden diese Messungen in einer zweiten Messserie wiederholt, indem

ausgewählte Bohrungen mit Lauge gefüllt wurden.

In einer dritten Messserie wurden tomographische Messungen zwischen ausgewählten Bohrloch-Paaren in trockenen und lauge gefüllten Bohrungen realisiert, um ebenfalls den Einfluss von Feuchtigkeit und Lauge auf das tomographische Messergebnis zu bestimmen. Zusätzlich erfolgte eine radartomographische Vermessung zwischen zwei Bohrungen, um die Auflösung von Strukturelementen (Existenz von zwei Rolllöchern im durchstrahlten Zwischenfeld) zu untersuchen.

Das durchgeführte Messprogramm bildete eine fachliche Einheit mit dem ebenfalls zwischen den 10 Bohrungen realisierten seismischen Reichweiteuntersuchungen und Tomographiemessungen, die von der ARGE STA (siehe separater Vortrag) durchgeführt wurden. Der kombinierte Einsatz von Seismik und Radar stellt eine entscheidende und wichtige Voraussetzung für die Erzielung eines hohen Erkenntnisgewinns dar und sollte für die weitere Erkundungsplanung berücksichtigt werden.

S4-1.01

Detektion der Auftauschicht in Permafrostgebieten mittels Flugzeuggestütztem GPR

J. Sobiech-Wolf¹, T. Ullmann², J. Kunz², C. Kneisel², D. Steinhage¹, V. Helm¹, J. Hartmann¹, R. Baumhauer², W. Dierking¹

¹Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, ²Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Würzburg

Die vom Permafrost dominierten Gebiete der Arktis sind von der globalen Erwärmung besonders betroffen. Als Folge der höheren Temperaturen nehmen die Dicke der Auftauschicht und die Anzahl der frostfreien Tage im Jahr immer weiter zu, wodurch der Ausstoß von Treibhausgasen durch erhöhte Bakterienaktivität steigt. Wenn Infrastruktur in diesen Gebieten vorhanden ist oder angelegt werden soll, muss sie im Permafrost gegründet sein um dauerhaft stabil zu sein. Somit ist es sowohl für die Klimamodellierung als auch für die Infrastruktur wichtig, die Auftautiefe der oberen Bodenschicht flächendeckend zu kennen.

Zu diesem Zweck wurde im August 2018 eine große Feldkampagne rund um Inuvik, NW-Kanada, durchgeführt. Das Gebiet ist durch Permafrost geprägt, die Mächtigkeit der Auftauschicht liegt zwischen 30cm und 2m. Die Vegetation wechselt zwischen offener Tundra, strauchdominierter Tundra und Taiga (Nadelwald). Während der Feldarbeiten hat ein Team im Gelände die Vegetation, die Bodeneigenschaften und die Dicke der Auftauschicht punktuell erfasst, sowie GPR-Messungen mit 200 MHz Antennen zur Kartierung der Auftauschicht und geoelektrische Messungen zur Charakterisierung des Permafrostkörpers durchgeführt. Ein zweites Team hat mittels flugzeuggestützter Messungen mit der Polar 5 des Alfred-Wegener-Instituts das Gebiet großflächig kartiert. Bei niedrigen Flügen in ca. 300m Höhe über Grund wurden GPR Messungen zur Erfassung der Dicke der Auftauschicht durchgeführt. Das verwendete Radarsystem ist ein FMCW Radar mit einem Frequenzbereich von 400 – 800 MHz, wodurch eine hohe vertikale und horizontale Auflösung gegeben ist. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Untersuchungsgebiet ist variabel mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 0,044m/ns in der Auftauschicht. Auf höheren Flügen (ca. 1000m über Grund) wurden unter anderem eine VIS+NIR und eine SWIR-Hyperspektralkamera (AISA EAGLE und HAWK) sowie ein RIEGL Laserscanner betrieben, womit Vegetation und Geomorphologie charakterisiert werden können. Um die Ergebnisse auf das gesamte Untersuchungsgebiet zu übertragen werden zusätzlich Satellitendaten des Gebiets ausgewertet. Somit ist eine umfassende Charakterisierung des aktuellen Zustands aller Faktoren des Ökosystems, die den Permafrostkörper und die Auftauschicht betreffen, möglich.

Hier präsentieren wir erste Ergebnisse der GPR Messungen aus den Befliegungen sowie vom Boden und ordnen diese in die räumliche Struktur des Untersuchungsgebiets ein.

S4-1.02

Der Nachweis von Permafrost als landschaftsformender Faktor mithilfe der Geoelektrik und einer geomorphologischen Kartierung in Tibet

J. Buckel, A. Hördt

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

Sedimentflüsse im Qugaqie-Einzugsgebiet am NamCo-See (Tibetisches Plateau) sind besonders durch das spezielle regionale Klima charakterisiert. Dieses ist durch mehrere Windsysteme (Westerlies, südwestlicher asiatischer Monsun, und indischer Sommer-Monsun) beeinflusst. Zusätzlich steuert die hochalpine Höhenlage mit großen tages- und jahreszeitlichen Temperaturschwankungen die Sedimentdynamik. Die Höhererstreckung des Qugaqie-Tales reicht vom Seespiegel des NamCo (4722 m) bis auf eine Höhe von 6188 m über dem Meer. In dieser Höhenstufe ist der Einfluss von Permafrost auf die vorkommenden Sedimentspeicher und auf die rezent-wirkenden morphologischen Prozesse sehr bedeutsam. Darum liegt die Hypothese nahe, dass periglaziale (durch Eis und Frost kontrollierte) Prozesse die Sedimentflüsse über das Jahr dominieren und steuern. Ziel der Studie ist es, den Sedimenttransport durch periglaziale Prozesse zu lokalisieren und zu quantifizieren. Dafür werden folgende Forschungsfragen formuliert: (1) In welcher Höhenstufe befindet sich Permafrost? (2) Welche periglazialen Sedimentspeicher gibt es? (3) Wie sind Permafrost und die entsprechenden Landformen im Untersuchungsgebiet verteilt?

Folgende Methoden werden für eine Beantwortung der Fragen kombiniert: (1) konzeptionelle Theorie: Potentielle Sedimentflüsse werden durch das Kaskadensystem konzeptualisiert. (2) Kartierung: Eine geomorphologische Karte lokalisiert Landformen, verschiedene Sedimentspeichertypen und die dazugehörigen geomorphologischen Prozesse auf Basis von Felduntersuchungen und Luftbildanalysen. (3)

Gleichstromgeoelektrik: Die unterschiedlichen Widerstandverteilungen der erdnahen Oberfläche lassen Rückschlüsse auf die Existenz von Permafrost und auf Schichtgrenzen im Untergrund zu.

Im Untersuchungsgebiet befindet sich lokal Permafrost ab einer Höhe von 5400 m in nördlicher Exposition. Dies ergibt die höhenzonale Verteilung der kartierten periglazialen Landformen und Widerstandverteilungen in Moränenablagerungen von mehr als 60.000 Ohmm, die indirekt Eis im Boden nachweisen. Eine weiterführende Beantwortung der Forschungsfragen ergibt sich aus bevorstehenden Felduntersuchungen, besonders in der Anwendung von weiteren geophysikalischen Methoden.

S4-1.03

Quaternary sediment architecture in the Orkhon Valley (Mongolia) inferred from capacitive coupled resistivity and GPR measurements

S. Mackens¹, N. Klitzsch²

¹Geotomographie GmbH, Neuwied, ²RWTH Aachen University, Aachen

We present an approach for the joint interpretation of the geophysical methods ground penetrating radar (GPR) and capacitive coupled resistivity (CCR), drill core, and remote

sensing data under permafrost conditions. The methods GPR and CCR were chosen because they allow relatively fast surveying and provide complementary information. We apply the approach to the middle Orkhon Valley in central Mongolia where fluvial, alluvial, and aeolian processes led to complex sediment architecture.

The GPR and CCR data, measured on profiles with a total length of about 60 km, indicate the presence of two distinct layers over the complete surveying area: (i) a thawed layer at the surface, and (ii) a frozen layer below. In a first interpretation step, we establish a geophysical classification by considering the geophysical signatures of both layers. We use sedimentological information from core logs to relate the geophysical classes to sediment types. This analysis reveals internal structures of Orkhon River sediments, such as channels and floodplain sediments. We also distinguish alluvial fan deposits and aeolian sediments by their distinct geophysical signature. With this procedure we map aeolian sediments, debris flow sediments, floodplains, and channel sediments along the measured profiles in the entire basin.

We show that the joint interpretation of drillings and geophysical profile measurements matches the information from remote sensing data, i.e., the sediment architecture of vast areas can be characterised by combining these techniques. The method presented here proves powerful for characterising large areas with minimal effort and can be applied to similar settings.

S4-2.01

Spektrale Kapazitive Geoelektrik – Anwendungen in der Kryosphären- und Permafrostforschung

J. Mudler¹, A. Hördt¹, T. Radic², J. Buckel¹

¹Technische Universität Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik, Braunschweig, ²Radic Research, Berlin

Spektrale geoelektrische Messungen über einen breiten Frequenzbereich ermöglichen die Bestimmung der beiden frequenzabhängigen Parameter elektrischer Widerstand ρ und Permittivität ϵ . Dafür messen wir die komplexe Impedanz einer 4-Punkt Konfiguration in Form von Betrag $|Z|$ und Phase ϕ für verschiedene diskrete Frequenzen im Bereich von 1 Hz bis 230 kHz und führen eine Anpassung der spektralen Information mittels Cole-Cole Modell durch, welches eine Beschreibung der dielektrischen Relaxation liefert. Die Auswertung der Daten erfolgt durch eine neuartige spektrale 2D-Inversion, die in dem Inversionstool AarhusInv implementiert ist. Dadurch können Strukturen im Untergrund auf Basis der gesamten spektralen Information wiedergegeben werden. Da das typische Dispersionsverhalten von Eis in diesem Frequenzbereich stattfindet, eignet sich die Anwendung für die Untersuchung von Eis und Eismischungen, wie Permafrost.

Die neue Apparatur Chameleon II von Radic Research wurde speziell für diese Anwendung entwickelt und bietet neue technische Vorteile gegenüber ihrem Vorgänger. Die Impedanzmessungen können ab Frequenzen von 10^{-4} Hz realisiert werden, womit ebenso breitbandige Anwendungen der Spektralen Induzierten Polarisation (SIP) möglich sind. Hohe Signalstärken sorgen auch auf resistiven Untergründen für größtmögliche Eindringtiefen. Durch die Verwendung zweier separater Transmitter am Stromdipol ist es möglich, störende Kopplungseffekte bestmöglich zu kompensieren. Integrierte Akkumulatoren, Wlan-Kopplung zur Steuereinheit und optische Kabel zur

störungsfreien Datenübertragung sorgen für eine hohe Datenqualität und eine kompakte Messapparatur.

Auf harten und besonders resistiven Untergründen, wie es oft in Gebieten mit Eisvorkommen der Fall ist, ist die klassische galvanische Kopplung durch Spießelektroden mit Problemen verbunden. In diesen Fällen kann durch kapazitive Kopplung Abhilfe geschaffen werden. Für unsere Messungen kapazitiver Geoelektrik nutzen wir dafür Plattenelektroden, die lediglich auf den Boden gelegt werden. Wir stellen Ergebnisse aus Feldmessungen unserer spektralen Anwendung der kapazitiven Geoelektrik vor, darunter erste Messungen mit dem neuen Messgerät, die auf dem Kitzsteinhorn in den österreichischen Alpen durchgeführt wurden. Anhand der Ergebnisse werden die Vorteile und Möglichkeiten, die die Methode selbst und die zweidimensionale Inversion bieten, erläutert und das Potential der Anwendung in der Permafrostforschung aufgezeigt.

S4-2.02

Quantitative Bildgebung von Permafrostsystemen mittels petrophysikalisch gekoppelter Inversion von seismischen und geoelektrischen Messdaten

F. M. Wagner¹, C. Mollaret², T. Günther³, A. Kemna¹, C. Hauck²

¹Universität Bonn, Institut für Geowissenschaften und Meteorologie, Bereich Geophysik, Bonn, ²Université de Fribourg, Département des Géosciences, Fribourg, Schweiz, ³Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover

Tauender Permafrost führt zur Freisetzung von Treibhausgasen in die Atmosphäre und kann die Hangstabilität in alpinen Regionen beeinträchtigen. Zur Quantifizierung von Klimarückkopplungen und Gefährdungspotenzialen, beispielsweise durch Hangrutschungen, ist ein verbessertes Verständnis der hydrologischen Prozesse in Permafrostsystemen unabdingbar. Seismische und geoelektrische Messmethoden sind sensitiv in Bezug auf den Phasenübergang zwischen Eis und flüssigem Wasser und bieten Möglichkeiten zur nichtinvasiven Bildgebung von Permafrostsystemen. Die unterschiedlichen (und sich partiell ergänzenden) Sensitivitäten motivieren eine Kombination beider Methoden zur quantitativen Ansprache der volumetrischen Anteile von Eis, flüssigem Wasser und Luft.

Bisher wurden hierzu die Messungen beider Verfahren konventionell invertiert und mithilfe von petrophysikalischen Beziehungen und einer angenommenen Porositätsverteilung in die volumetrischen Zielgrößen überführt. Dies kann im Falle von falschen Porositätsannahmen und Inversionsartefakten zu unphysikalischen Ergebnissen führen. Wir stellen eine Methode zur gemeinsamen petrophysikalisch gekoppelten Inversion seismischer und geoelektrischer Messdaten vor, die dies verhindert. Hierbei bilden die volumetrischen Gehalte von Eis, flüssigem Wasser, Luft und Gesteinsmatrix die Zielparameter der Inversion. Dies hat u.a. den Vorteil, dass zusätzliche Informationen, z.B. über den Wassergehalt basierend auf Bodenfeuchtemessungen, integriert und petrophysikalische Gesetzmäßigkeiten während der Inversion berücksichtigt werden können. Anhand von synthetischen und realen Messdaten zeigen wir die Vorteile und Grenzen der gemeinsamen Inversion auf. Obgleich sich die Quantifizierung der volumetrischen Gehalte im Vergleich zu

konventionellen Inversionen deutlich verbessert, verbleibt die inhärente petrophysikalische Mehrdeutigkeit zwischen Gesteinsmatrix und Eis und die damit verbundene Schwierigkeit Änderungen in Porosität und Eisgehalt voneinander zu unterscheiden.

S4-2.03

Induced Polarization imaging for the investigation of clay-rich landslides

A. Flores Orozco¹, J. Gallistl², L. Aigner², M. Bücke², D. Kostial³

¹TU-Wien, Geodesy and Geoinformation, Vienna, Österreich,

²TU Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik, Braunschweig,

³Pöyry Austria GmbH, Geodetic and Geotechnical Department, Salzburg, Österreich

The induced polarization (IP), method has emerged as a promising technique for hydrogeological studies with lab-scale studies revealing an improved quantification of parameters controlling water flow. Hence, the IP appears as a well-suited technique for landslides investigations, especially those developed in clay-rich areas. However, to date the IP method has been rarely applied for landslide characterization. To fill this gap, here we present IP imaging results for extensive data collected along four different landslides in Low Austria (Austria), all located in clay-rich materials whether within the Flyschzone or the Molasse formation. In each one of the study areas, CC measurements were collected in different profiles (for a total of 16 profiles in total) to gain information about spatial changes in subsurface capacitive and conductive electrical properties. To complement the information gained by the electrical images, seismic refraction tomography (SRT) has been collected in parallel in all IP profiles. To aid in the interpretation of the geophysical data, laboratory analysis was performed in soil samples recovered along different trial pits (10 in total) and in 3 cores recovered after drilling. For the characterization of the sliding plane, at the evaluation of the IP images, 10 Dynamic Probing Heavy (DPH) soundings were conducted in areas of interest. Our results show that a combination of geophysical and geotechnical techniques permits an improved characterization of landslides. Images of the electrical resistivity and seismic velocities revealed consistent results and in agreement with soil compaction observed through DPH, permitting the delineation of the sliding plane. Although only resolving for a modest response, IP images were also consistent with those observations. Moreover IP images also permitted to delineate the geometry of Earthflows which were not detected by RST and improved the interpretation of electrical resistivity images. Yet, IP images also revealed larger spatial variability, in concordance with the heterogeneities observed during excavations of the trial pits and from the analysis of soil samples. Our results evidence the applicability of the IP method for landslide investigations, yet also the necessity of further research for an improved interpretation of field-scale signatures.

S4-2.04

Bewegungsraten, Strainanalyse und Slidequakes an der Super-Sauze Hangrutschung

S. Rothmund, N. Vouillamoz, M. Joswig

Universität Stuttgart, Institut für Geophysik, Stuttgart

Passives seismisches Monitoring zur Detektion und Überwachung von kriechenden bis langsam bewegenden bindigen Lockergesteinsrutschungen findet in den letzten zwei Jahrzehnten zunehmend Anwendung. Für die erfassten rutschungsinduzierten Bruchprozesse (sog. Slidequakes) und Tremorsequenzen können aufgrund des schlechten Signal-Rausch-Verhältnisses (SNR) weder die genaue Tiefe, noch Momententensoren bestimmt werden, so dass es folglich nicht möglich ist, allein auf Basis seismischer Daten den Herdmechanismus für die rutschungsinduzierten Signale zu identifizieren. Deshalb wird der Grundgedanke einer multidisziplinären Analyse und synoptischen Interpretation verfolgt, wobei die abgeleiteten Informationen aus den geodätischen und fernerkundlichen Beobachtungen eine wesentliche neue Informationsquelle darstellen. Für Untersuchung des Auftretens rutschungsinduzierter Signale wurde ein achtwöchiges multidisziplinäres Feldexperiment an der Super-Sauze Hangrutschung (Südfranzösische Alpen) zwischen Ende Mai und Juli 2010 durchgeführt. Basierend auf diesem Feldexperiment wird gezeigt, welche der fernerkundlichen und geodätischen Verfahren und welche abgeleiteten Parameter sich eignen, um Rückschlüsse auf das räumliche und zeitliche Auftreten von Slidequakes und Tremorsequenzen zu ziehen. Dabei bildet die Analyse von sehr hochauflösenden multitemporalen UAV-basierten Luftbildern, sowie terrestrischen Bildsequenzen, multitemporalen rasterförmigen dGNSS-Messungen und terrestrischen Laserscans die wichtigste Datengrundlage. Im Vordergrund standen dabei die Ableitung präziser Bewegungsraten und die Quantifizierung der Rissentwicklungsprozesse, sowie oberflächlicher Änderungen infolge der Hangdynamik. Aufbauend auf der multitemporalen Verschiebungsanalyse ist ein Schwerpunkt die Strainanalyse, bei der aus zeitlich und räumlich heterogenen Geschwindigkeitsvektorfeldern von dGNSS- und TLS-Messungen die oberflächlichen Deformationsraten und seismische Momentenraten nach Savage und Simpson (1997) abgeleitet werden. Die Strainratenfelder visualisieren Bereiche mit unterschiedlichen Mustern von räumlich variabler Extension und Kompression, als auch Scherungsraten von Teilgebieten und weisen auf variable Spannungsänderungen hin. Weiter könnten sich Änderungen in lokalen Deformationsmustern von Kompression und Extension für die Ableitung einer schematischen Herdflächenlösung eignen.

S4-3.01

Investigation into the geomorphology and internal sedimentary structures of Holocene coastal sediments of the island of Usedom using georadar

N. Neffgen, G. Büttner, M. Kenzler

Universität Greifswald, Institut für Geographie und Geologie, Greifswald

The morphology of northeastern Germany is mainly formed by Pleistocene and Holocene processes. The investigated island of Usedom shows these interfingering

processes spatially comprised. To project future changes of the coastline, a proper reconstruction of its past formation and its influencing parameters is needed.

The aim of this work was therefore the reconstruction of the internal structure of the Peenemünde-Zinnowitzer lowland, a beach ridge that started to form about 4000 BP. To achieve that, an 800 m GPR transect was taken, vertically crossing the beach ridges from east to west. Several radar antennas were used (100 - 800 MHz, shielded and unshielded) to achieve a good resolution, reaching a maximum penetration depth of 290 ns TWT (two-way traveltime), corresponding to approximately 11 m depth. A combination of the found reflections and sediment cores allowed a detailed facies analysis and the interpretation through a lithological model.

Three main units could be identified, the dune facies, beach ridge facies and the wind flat facies. It was found that the reflections of the beach ridges vary in their tilt between 11 - 27°, which might indicate changes in transgression rates and sediment supply. Their tilt increased during decreasing progradation rates. Including LIDAR Data and OSL ages from other studies a genesis model of the area could be developed.

S4-3.02

Zu Wasser und zu Lande: Elektrische und elektromagnetische Erkundung von Sedimentablagerungen im Seengebiet Nahá und Metzabok in Chiapas (Mexiko)

M. Búcker¹, A. Flores Orozco², J. Gallistl², J. Buckel¹, C. Pita de la Paz³, L. Pérez⁴

¹TU Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik, Braunschweig, ²TU-Wien, Research Group Geophysics, Wien, Österreich,

³Geotem Ingeniería S.A. de C.V., Mexiko Stadt, Mexiko,

⁴TU Braunschweig, Institut für Geosysteme und Bioindikation, Braunschweig

Die Selva-Lacandona Region ist ein Urwaldgebiet im südlichen Teil des mexikanischen Bundesstaates Chiapas. Aufgrund ihrer hohen Biodiversität und der bis heute überwiegend traditionellen Landnutzung durch die indigene Bevölkerung eignen sich die Seengebiete von Nahá und Metzabok sehr gut für die Rekonstruktion früherer Klimaverhältnisse und tragen zum Verständnis der Landschaftsentwicklung bei. In den Seesedimenten erhalten sich sog. Umweltbioindikatoren (z.B. fossile Kleinstlebewesen, Pollen, Rußpartikel), die sich auswerten lassen, um die historische Entwicklung der Geo- und Ökosysteme im Untersuchungsgebiet nachzuzeichnen. Zur Rekonstruktion der geologischen Entstehungsgeschichte der untersuchten Wasserkörper im Allgemeinen und insbesondere zur Vorbereitung zukünftiger paläolimnologischer Sedimentbohrungen wurden im Rahmen unserer Untersuchungen verschiedene geophysikalische Methoden angewandt. Hier stellen wir die Ergebnisse von Gleichstromgeoelektrik- und Transienten-Elektromagnetik-Messungen vor, die zu Wasser und zu Lande durchgeführt wurden, um die Mächtigkeit von Sedimentablagerungen abzuschätzen. Besonderes Augenmerk legen wir dabei auch auf die Diskussion der technischen Umsetzung der beiden Messverfahren auf dem Wasser.

S4-3.03

Die Verknüpfung geophysikalischer Verfahren als ein Baustein zur Erfassung der fluvialen Architektur am Beispiel der holozänen Aue der Weißen Elster

U. Werban¹, M. Pohle¹, J. Völlmer², H. von Suchodoletz^{2,3}

¹Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Department Monitoring- und Erkundungstechnologien, Leipzig, ²Universität Leipzig, Institut für Geographie, Leipzig, ³TU Dresden, Institut für Geographie, Dresden

Die Erfassung der sogenannten fluvialen Architektur, d.h. die mehrdimensionale Erfassung der Stratigraphie von Auesedimenten, ist ein wichtiger Schritt zur Rekonstruktion der früheren fluvialen Dynamik von Flusssystemen. Im Falle von nicht oder kaum einschneidenden Flusssystemen fehlen gehobene Terrassensysteme, welche mit Hilfe natürlicher Aufschlüsse einen relativ leichten Zugang zur fluvialen Stratigraphie erlauben. Stattdessen sind invasive und nicht invasive Verfahren zur Erkundung der begrabenen Auesedimente nötig.

Im Rahmen eines DFG-geförderten interdisziplinären Projekts werden derzeit holozäne Auesedimente der Weißen Elster in Mitteldeutschland untersucht, deren Einzugsgebiet eine ausgesprochen hohe fluvial-geomorphologische Sensitivität gegenüber abrupten hydroklimatischen Wechseln aufweist. Die Aufnahme der fluvialen Sedimente erfolgt hierbei zum einen traditionell mit Bohrtransekten. Zum anderen unterstützen geophysikalische Arbeiten in mehreren Teilgebieten der Aue insbesondere die räumlich aufgelöste Kartierung der Auenstratigraphie. Hierfür verwenden wir eine Kombination aus elektromagnetischer Induktion als flächenhafter Messung, und profilweise durchgeführter Gleichstromgeoelektrik. Wir präsentieren geophysikalische Ergebnisse aus zwei Teilgebieten, deren Interpretation durch Bohrungen unterlegt wird. Es zeigt sich deutlich, dass der integrative Ansatz hervorragend für die Kartierung ehemaliger fluvialer Architekturelemente in der Aue geeignet ist. Insbesondere der Unterschied zwischen Kieskörpern, die im Zusammenhang mit Paläorinnen stehen, und flächendeckenden feinkörnigen Auelehmdecken wird hierdurch systematisch erfasst. Eine Beschränkung der geophysikalischen Verfahren liegt jedoch in deren begrenzten vertikalen Auflösung. Der Einsatz von direct push-gestützter Sensorik zur Erfassung hochaufgelöster Vertikalprofile bietet hier eine neue methodische Möglichkeit zur weiteren Ergänzung der traditionellen Rammkernsondierungen.

S4-P.01

Towards operational application of Spectral Induced Polarization for alpine permafrost environments – improvement of data quality

T. Maierhofer¹, C. Hilbich², C. Hauck², A. Flores-Orozco¹

¹Technical University of Vienna, Geodesy and Geoinformation, Wien, Österreich,

²University of Fribourg, Department of Geosciences, Fribourg, Schweiz

Electrical resistivity tomography (ERT) is a widely applied technique to investigate the spatial distribution and temporal evolution of permafrost. Especially ice-rich permafrost is easily detectable with ERT. However, in many cases the interpretation of the subsurface electrical resistivity is ambiguous, and additional information is needed to improve the quantification of the ice/water content within the subsurface. We therefore extend the investigation of electrical conduction mechanisms by taking into account the capacitive properties of the subsurface by means of Induced Polarization (IP) methods. This includes the measurement of the amplitude ratio and the phase shift between the periodic voltage and current signals associated to polarization effects at the water-ice interface. Moreover, IP measurements were conducted over a broad range of frequencies (in the so-called spectral IP (SIP)), to quantify the frequency dependence of the IP in the subsurface materials. The SIP method was tested in an imaging framework at different mountain permafrost sites in the Swiss Alps. The selected study areas are well-established permafrost monitoring sites and provide a comprehensive geophysical characterization as well as borehole temperatures for validation. The sites cover different geomorphological landforms, substrates and ice contents. We present here SIP imaging results from the Lapires site in the Valais Alps, a large north-facing talus slope at ~2600 m altitude. SIP data were collected along several profiles as normal and reciprocal pairs for quantification of data error. We tested different measurement protocols and cable layouts, carefully designed to minimize unwanted electromagnetic effects in the data. Our results show that shielded and separated cables help to improve data quality and thus, the quantification of the SIP response of frozen rocks. Additionally, SIP anomalies agree with ice-rich permafrost as delineated from previous studies, yet spatial variations permit us to distinguish between ice- and air-filled pores, improving the interpretation of ERT.

S4-P.02

Vergleich von Mikrotremormessungen an Standorten in Sedimentbecken und auf Flussterrassen

C. Geisler, A. Azari Sisi, T. Spies, J. Schlittenhard

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

Sedimentsauflagen auf Festgestein führen zu erheblichen Erhöhungen der seismischen Gefährdung aufgrund der Verstärkung seismischer Wellen und zusätzlich zu erhöhten Beanspruchungen von Gebäuden aufgrund der Verlängerung der Schwingungsdauer. Um diese sogenannten Standorteffekte einzuschätzen, muss der Verlauf der S-Wellengeschwindigkeiten mit der Tiefe bis zum Festgestein ermittelt werden. Effektive

Verfahren sind Mikrotremormessungen, d.h. Messungen der natürlichen Bodenunruhe, mit Einzelmessstationen („H/V-Messungen“) und Array-Messungen, die aus einer Anzahl von Messstationen aufgebaut sind. Im Beitrag werden die Messmethoden sowie die eingesetzte Hardware und Software kurz vorgestellt. Messungen auf tiefgründigen Sedimenten im Oberrheingraben und in der Bayerischen Molasse werden solchen auf Flussterrassen mit deutlich geringerer Sedimentmächtigkeit gegenübergestellt. Die Ergebnisse im Bereich tiefer Sedimentbecken zeigen geringe H/V-Peaks an und sind zum Teil relativ tiefen Diskontinuitäten zuzuordnen, z.B. die Maxima in den H/V-Kurven dem Übergang zwischen Älterem und Jüngerem Tertiär im Oberrheingraben in 1 bis 2 km Tiefe. Dagegen zeigen die Messungen auf Flussterrassen, in diesem Fall Quartärlagerungen der Weser mit Mächtigkeiten von 10 bis 50 m über mesozoischem Gestein, hohe H/V-Peaks im für Gebäude relevanten Frequenzbereich zwischen 1 und 10 Hz an.

S4-P.03

Anwendung geophysikalischer Messmethoden zur Untersuchung von Gletscher-Permafrost-Interaktionen an einer Stauchmoräne im Val Muragl, Schweizer Alpen

J. Kunz, C. Kneisel

Universität Würzburg, Institut für Geographie und Geologie, Würzburg

Die Anwendung geophysikalischer Messmethoden ist im Bereich der Permafrostforschung weit verbreitet und hat im Laufe der letzten Jahrzehnte zu einem enormen Erkenntnisgewinn bezüglich der Verbreitung und Entwicklung von Permafrost sowohl im polaren als auch alpinen Raum beigetragen. Im Rahmen dieser Studie wurde mit Hilfe von Georadar und Geoelektrik ein Moränenkomplex in den Schweizer Alpen untersucht, dessen Entstehung mutmaßlich auf eine Interaktion zwischen einem Gletscher und pro- und subglazialen Permafrost zurückzuführen ist. Ziel war es dabei, sowohl die aktuellen internen Strukturen des Moränenkomplexes zu untersuchen, als auch Hinweise auf die ehemaligen Gletscher-Permafrost-Interaktionen im Inneren der Moräne bestätigen zu können.

Die Verwendung der beiden genannten geophysikalischen Messmethoden ermöglicht eine differenzierte Untersuchung verschiedener interner Strukturen des Moränenkomplexes. Während die Verwendung der Geoelektrik besonders eine Unterscheidung zwischen dauerhaft gefrorenen und zeitweise ungefrorenen Bereichen innerhalb der Moräne ermöglicht, eignet sich das Georadar besonders zum Nachweis von internen sedimentologischen Strukturen. Neben der Detektion von Eisvorkommen im oberflächennahen Untergrund ermöglicht die Methode der Geoelektrik zusätzlich eine Unterscheidung zwischen sedimentärem Eis und magmatischem Eis, wodurch Rückschlüsse auf die Art der Genese ermöglicht werden.

Im Falle des untersuchten Moränenkomplexes konnten so Bereiche unterschiedlicher Eisgehalte, aber auch sowohl Permafrost-bedingtes Bodeneis als auch inkorporiertes Gletschereis im Bereich des Moränenkörpers detektiert werden. Mit Hilfe des Georadars konnten sedimentologische Strukturen in Form von Substratgrenzen nachgewiesen werden, die in ihrer Form und Struktur als Beleg für die glazitektonischen Scherprozesse während der Moränengenesse und damit als Nachweis von Gletscher-Permafrost-Interaktionen an diesem Standort gedeutet werden.

Dies belegt die Bedeutung geophysikalischer Methoden im Fachbereich der Geomorphologie, die gerade dann, wenn direkte Messungen oder Aufschlüsse nicht durchführbar bzw. vorhanden sind, einen wichtigen Einblick in die internen Strukturen sowie die Genese der jeweiligen Formen geben können.

S4-P.04

Geoelektrische Prospektion des oberflächennahen Untergrundes anthropogen überprägter Standorte im Spessart

J. Trappe, C. Büdel, C. Kneisel, R. Baumhauer

Universität Würzburg, Physische Geographie 1, Würzburg

Der Spessart war bereits im Mittelalter besiedelt und lieferte aufgrund seiner dichten Buchenwälder wichtige Rohstoffe zur Glas- und Bierproduktion. Bei archäologischen Ausgrabungen diverser Burgen im Spessart spielen verschiedene Aspekte der Geomorphologie eine wichtige Rolle, die unter anderem mit Hilfe von geoelektrischen Messungen und anderen geophysikalischen Methoden herausgearbeitet werden. Eine wichtige Frage während dieser Ausgrabungen ist, ob die rezente Oberflächenform anthropogen entstanden bzw. stark beeinflusst ist oder einen natürlichen Ursprung hat. Die Untersuchungen sollen ein konzeptionelles Modell des oberflächennahen Untergrundes liefern aus dem der Zusammenhang von Geomorphologie und anthropogener Landnutzung abgeleitet werden kann.

Zur Prospektion des oberflächennahen Untergrundes wurden primär, 2D Geoelektrikmessungen mit Längen von 17,5 bis 172 Metern, mit Spacings zwischen 0,5 und 2 Metern, eingesetzt. Unterstützt wurden diese Messungen mit einer GIS-gestützten Reliefanalyse, verschiedenen invasiven Methoden z.B. Rammkern- und Pürckhauerbohrungen und weiteren geophysikalischen Methoden, wie Bodenradar, Hammerschlagseismik und Geomagnetik.

Am Standort Wahlmich deuten verschiedene Daten die natürliche Genese der Umgebung des Burgenstandortes an obwohl dieser auf den ersten Blick stark anthropogen geprägt erscheint. Geoelektrik Tomogramme zeigen hierbei verschiedene Verwerfungen, die eine Massenselbstverlagerung ausgelöst haben.

Am Standort Hauenstein hat sich eine Mühle befunden. Geoarchäologische und geophysikalische Messungen zeigen reliktsche Mühlteiche. Mit Hilfe von geoelektrischen Tomogrammen können die Ausmaße dieser abgeschätzt werden. Außerdem wurden durch die Messungen Standorte für die C14 Probenahme bestimmt, die den Grund der Teichsedimente auf die Zeit der Burgennutzung datieren. Die geoelektrischen Daten an beiden Standorte zeigen die Bedeutung der Geomorphologie auf die Standortwahl von hochmittelalterlichen Burgen im Spessart. Außerdem ist ersichtlich, welchen Einfluss der Mensch auf die rezente Oberflächenformung hat. Die vorgestellten Untersuchungen deuten aber auch an, dass die Aussagekraft der Daten erhöht wird, wenn sie mit anderen geophysikalischen, invasiven und GIS-basierten Methoden unterstützt werden.

S4-P.05

Assessment of data fusion strategies with regard to an enhanced characterization of alpine permafrost

M. Steiner^{1,2}, F. Wagner³, W. Schöner⁴, T. Maierhofer^{1,5}, A. Flores Orozco¹

¹TU Wien, Research Division Geophysics, Wien, Österreich, ²University of Natural Resources and Life Sciences, Institute of Applied Geology, Wien, Österreich, ³University of Bonn, Institute of Geosciences and Meteorology, Bonn, ⁴University Ofen Graz, Department of Geography and Regional Science, Graz, Österreich, ⁵University of Fribourg, Department of Geosciences, Fribourg, Schweiz

Increasing temperatures and changing precipitation regimes in the Alps due to climate change are known triggers for the degradation of alpine permafrost. Hence, risk assessment of associated geohazards (e.g., rockfalls and rock avalanches) and conception of engineering projects in alpine regions require detailed knowledge about the present state as well as the spatio-temporal evolution of alpine permafrost. To overcome the spatial limitations of direct investigations (i.e., temperature measurements in boreholes), near-surface geophysical methods are well-established to obtain high resolution information regarding the distribution of alpine permafrost and temporal variations in the active layer thickness. However, for an improved interpretation taking into account different geophysical and wellbore data, joint analysis strategies are required. Although data fusion approaches are nowadays widely used in permafrost research, the associated limitations of the inversion algorithms and ambiguous processing results are seldom addressed. To this end, we performed an extensive numerical analysis on detailed conceptual subsurface models aiming at an improved understanding of refraction seismic tomography (RST), ground-penetrating radar (GPR) and electrical resistivity tomography (ERT) imaging results in an alpine permafrost environment. To facilitate the evaluation of different data fusion strategies, we implemented processing workflows in the open-source pyGIMLi framework (Geophysical Inversion and Modeling Library). Here we describe results obtained through numerical simulations and the analysis of real multi-method data sets acquired at Hoher Sonnblick (Austria) consisting of RST, GPR, ERT and borehole temperature measurements. Based on a statistical analysis of the obtained imaging results we assessed the performance of different data fusion strategies in terms of active layer delineation and ice content estimation.

S4-P.06

Characterization of a clayey landslide by integral application of multiple geophysical and geotechnical methods

L. Aigner¹, J. Gallistl¹, M. Bucker^{1,2}, M. Steiner^{1,3}, W. Chwatal⁴, D. Kostial⁴, A. Flores-Orozco¹

¹TU Wien, Research Division Geophysics, Wien, Österreich, ²TU Braunschweig, Institute for Geophysics and Extraterrestrial Physics, Braunschweig, ³University of Natural Resources and Life Sciences, Institute of Applied Geology, Wien, Österreich, ⁴Pöyry Austria GmbH, Geophysics, Infra, Water & Environment Division, Wien, Österreich

Landslides are natural hazards posing a threat to infrastructure and human life. Understanding the internal structure of landslides is critical for managing the associated risks. Geotechnical methods are a common way to characterize the subsurface properties of interest (e.g., lithology, water content, plasticity, etc.), yet they only provide information at discrete measurement points. Economic and logistic limitations constrain the applicability of geotechnical measurements to gain information with the required spatial resolution. Furthermore, a simple interpolation of geotechnical data might bias the result, since subsurface properties can change even at a small scale. Geophysical methods provide quasi-continuous information about subsurface properties, yet the quantitative interpretation of such results requires complementary data. Hence, we propose the joint application of geotechnical and geophysical methods in landslide investigations. The study site is located in the “Flysch-Zone” in Lower Austria and consists of interbedded strata of sandstone and claystone covered by a weathered clay layer. We conducted five refraction seismic tomography (RST) and six induced polarization (IP) profiles distributed over the affected area (ca. 60,000 m²) to investigate the landslide architecture. At the crest of the landslide, we also applied transient electromagnetic (TEM) soundings and low-induction number electromagnetic methods (EMI) to identify possible drainage systems and estimate the volume of potential sliding materials. Laboratory analysis of materials recovered from one core drilling and three trial pits provided information on soil physical properties and cation exchange capacity. Additionally, four Dynamic Probing Heavy (DPH) soundings were done to detect the sliding plane. Changes in the seismic velocities resolved by RST and in the electrical properties resolved by IP imaging are in agreement with those revealed by heavy dynamic probing, permitting a gapless delineation of the sliding plane. Based on the laboratory analysis of soil samples heterogeneities within the sliding mass detected by IP and electromagnetic investigations can be related to varying water and clay content within different geological units. Our results permitted to delineate between four different landslides within the study area and quantify their geometry.

AG-P.01

Multimethodische Prospektion von Überresten eines Herrenhauses in Noer

T. Wunderlich¹, F. Wolf², L. Costard³, K. Grüneberg-Wehner⁴, E. Erkul¹

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel, ²Geomar - Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung, Kiel, ³Jackson School of Geosciences, Austin, United States of America, ⁴Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Ur- und Frühgeschichte, Kiel

In Noer, an der Eckernförder Bucht gelegen, wurden auf einer Hügelkuppe geophysikalische Messungen mit Magnetik, Elektrik, Georadar, Elektromagnetischer Induktion (EMI) und Seismik durchgeführt, um die Überreste eines vermuteten Herrenhauses aus dem späten 16.-17. Jahrhundert zu untersuchen. An der Oberfläche sind zahlreiche Funde wie beispielsweise Ziegelbruch, Kalkmörtel und Keramikscherben zu finden, die die zu untersuchende Fläche auf einen Bereich von ca. 70m x 70m einschränken. Trotzdem wurden zunächst großflächig Magnetik- und EMI-Messungen durchgeführt, um auch benachbarte Hügelkuppen auf eventuell zugehörige Gebäudereste zu untersuchen. Dort wurden jedoch keine weiteren Funde gemacht, so dass die folgenden Messungen auf eine kleinere Fläche beschränkt werden konnten. Auf der Hauptgebäudestruktur wurde dann auf einer Fläche von ca. 50m x 50m Georadar und 3D-Elektrik gemessen, sowie ein langes Seismik-, Georadar- und Elektrikprofil über den Hügel gelegt. Ziel der Messungen war zum einen die Ausmaße und den Grundriss des Gebäudes zu bestimmen sowie Aussagen über den Erhaltungszustand zu machen. Zum anderen wurden die 3D-Elektrikmessungen als „normale“ 2D-Profilen aber auch in 3D ausgewertet und verglichen.

Die Magnetik zeigt auf der Hügelkuppe einen ca. 20m x 24m großen dreiteiligen Gebäudegrundriss sowie in 8m Abstand zum Gebäude eine als mögliche Umfassungsmauer gedeutete lineare Anhäufung von Dipolanomalien. Durch den oberflächennah liegenden Ziegelbruch sind die Mauerreste in der Magnetik teilweise überdeckt und dadurch unklar, treten aber in der Inphase-Komponente des EMI deutlicher hervor. Das Georadar zeigt in einem der drei Gebäudeteile Überreste eines Fußbodens. Die 3D-Elektrikauswertung zeigt im Vergleich zur 2D-Auswertung deutlichere und klarer begrenzte Mauerstrukturen auch parallel zu den Profilen.

AG-P.02

Archäometrie und Multiplen im Flachwasserbereich – eine Modellstudie

M. Schwardt, D. Wilken, W. Rabbel

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

Für die archäologische Untersuchung von Hafenstruktturen ist der küstennahe Flachwasserbereich oftmals von Interesse. In diesem Milieu sind die etablierten tiefenauflösenden Messverfahren (Geoelektrik, Georadar) limitiert, wodurch die

Seismik als Messverfahren in den Vordergrund rückt. Die Reflexionsseismik bietet im Wasser eine gute Auflösung im Dezimeterbereich bei entsprechenden Eindringtiefen von mehreren Metern, jedoch sind multiple Reflexionen und Reverberationen des seismischen Signals ein wohl bekanntes Problem bei marinen reflexionsseismischen Messungen. Vor allem im Flachwasserbereich können die auftretenden Multiplen das an (geo-)archäologischen Strukturen reflektierte primäre Nutzsignal überlagern. Es gibt eine Vielzahl an Methoden und Studien, die sich mit der Elimination bzw. Unterdrückung der Multiplen beschäftigen, diese sind jedoch nicht auf das von uns genutzte System mit zwei Quellen, einer Zentralfrequenz von 4 kHz und einem Array aus sechs Empfängern mit einem maximalen Offset von 1,5 m und den Untersuchungszielen im Flachwasserbereich in einer Wassertiefe von ca. 0,5 - 5 m anwendbar. Eine seit wenigen Jahren neue Herangehensweise an das Problem ist die Nutzung der Multiplen, da diese weitere Informationen über den Untergrund beinhalten. Dazu kann u.a. die Reverse-time Migration, ein Verfahren, welches die Ausbreitung gestreuter Wellen berücksichtigt, verwendet werden. Anhand einer Modellstudie wird gezeigt, ob und in welchen Fällen die Anwendung der Reverse-time Migration die Multiplen unterdrückt bzw. abschwächt und somit ein verbessertes Abbild des Untergrundes liefert. Dazu wurden verschiedene Szenarien sowohl mit als auch ohne archäologischen Strukturen erstellt, bei denen die Wassertiefe und der Geschwindigkeitskontrast am Gewässerboden variiert wurden. Mittels der auf finiten Differenzen basierenden akustischen Wellengleichung wurden zu diesen Szenarien synthetische seismische Daten modelliert.

Bohrlochgeophysik // Vorträge

BL-1.01

Befahrung eines Horizontalfilterbrunnens mit dem Messsystem HoriWell Inspector

M. Lay¹, T. Daffner², F. Börner³

¹Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V., Dresden,

²Umweltbüro GmbH Vogtland, Weischlitz, ³Technische Universität Berlin, Angewandte Geowissenschaften/ Angewandte Geophysik, Berlin

Horizontale Filterstränge dienen der Drainage (z. B. Altlastensanierung) und der Förderung großer Wasservolumina zur Wassergewinnung, für hydrothermale Nutzungen und der Begrenzung ansteigenden Grundwassers.

Für die Charakterisierung der hydraulischen und geochemischen Zustände innerhalb der horizontalen Filterstränge wurde das Messsystem HoriWell Inspector am DGFZ als Funktionsträger entwickelt.

Die Bohrlochsonde wird bei trocken aufgestellten Horizontalfilterbrunnen durch die Antriebseinheit mit einem Schiebegerät über ein Schleusenbauteil in den Innenraum der horizontalen Filterverrohrung bewegt. Entlang der Position im Filterstrang ermittelt das Gerät den Zuflussanteil über ein Packerscheibenflowmeter und die Milieuparameter Temperatur, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Redoxspannung und Sauerstoffgehalt der radialen Strömungskomponente des Wassers.

Die Anwendbarkeit der Komponenten belegten vergleichende Studien mit marktüblichen Sensoren erfolgreich. Das Gesamtsystem kam mehrfach in der Technikumsanlage der Umweltbüro GmbH Vogtland zur Anwendung und demonstrierte dort seine Leistungsfähigkeit unter kontrollierten realitätsnahen Einsatzbedingungen.

Bei der Befahrung eines Filterstrangs im Horizontalfilterbrunnen HBr6 in Senftenberg wurde das Messsystem HoriWell Inspector im September 2018 erstmalig außerhalb einer Testumgebung eingesetzt.

Es wurden sowohl Messwerte bei der Bewegung der Sonde entlang der Filterstrecke aufgezeichnet, als auch Zeitreihen an einzelnen Punkten aufgenommen.

Die Ergebnisse der Messungen mit dem HoriWell Inspector werden von Daten der automatischen Multiparametererfassung im Abstrom des Brunnens bestätigt.

Zusätzlich wurde ein Tracerexperiment mit verdünnter Solelösung durchgeführt. Dabei wurde die Lösung über die Säurespülleitung am Ende des Filterstrangs (ca. 40 m vom Schacht entfernt) injiziert und sowohl der Durchbruch der Tracerfront, als auch der Rückgang auf das Anfangsniveau von der stationär im Filterstrang messenden Sonde registriert. Basierend auf den Messdaten ohne Wasserförderung im Strang ist eine Auswertung von präferenziellen Fließwegen des Grundwassers außerhalb des Filtermaterials möglich.

Zusammen mit den Befunden der Sedimentanalyse vom Bau des Strangs können detailliertere Aussagen über den gegenwärtigen geochemischen und hydraulischen Zustand getroffen werden.

Mittelfristig soll das Messsystem verbessert werden und im Zusammenhang mit der Regenerierung eines horizontalen Filterstrangs zum Einsatz kommen.

BL-1.02

Challenges of core-log-seismic data integration for the high-resolution seismic stratigraphy in metamorphic environments

F. Kästner¹, S. Pierdominici¹, J. Elger², C. Berndt², J. Kück¹

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam,

²GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel, Kiel

As part of the ICDP priority program “Collisional Orogeny in the Scandinavian Caledonides (COSC)” we investigate the integration and linkage of geophysical properties from laboratory investigations, borehole measurements, and reflection seismic data in the western Scandinavian Caledonides. We aim to construct a high-resolution seismic stratigraphy along the 2.5 km deep and fully cored COSC-1 borehole, which was drilled in 2014 into the lower part of the Seve Nappe Complex to better understand the deep orogenic processes in mountain belts.

By calculating synthetic seismograms from borehole logs and matching them to 2D and 3D seismic data, we were able to identify lithological boundaries that represent seismic reflectors and to correlate them with changes not only in acoustic impedance but also in seismic anisotropy. In terms of compositional variations, these reflections correspond to interfaces between mafic and felsic rock units and mineral structure. We then compared the P-wave velocity data measured with a multi-sensor core logger with those obtained under in-situ conditions by a downhole sonic log. The differences in P-wave velocities between the two data sets are likely ascribed to the direction of the P-wave measurement

(horizontal, vertical) and the different measurement conditions (lab or in situ). Only the velocities that we have additionally measured on selected core samples in the laboratory under in-situ pressure conditions show similar results to those measured downhole. Our study shows that there are two main challenges when attempting core-log-seismic integration in metamorphic environments. Firstly, core samples are particularly strong affected by depressurization and excavation damage during drilling and measurements at ambient pressure and are therefore a poor proxy for in-situ seismic properties, which hinders correlation of core and borehole logs. Secondly, the high seismic velocities (>5 km/s) at shallow depths and their strong variability leads to poorer seismic imaging, e.g., if compared to sedimentary basins, particularly, in the offshore domain. Consequently, this requires additional seismic processing efforts for a successful core-log-seismic integration.

BL-1.03

Inversion for seismic anisotropy parameters from P- and S-wave Cross-Borehole Measurements

J. von Ketelhodt¹, M. Manzi¹, T. Fechner², R. Durrheim¹

¹University of the Witwatersrand, Geoscience, Johannesburg, Südafrika,

²Geotomographie GmbH, Neuwied

Joint P- and S-wave measurements for tomographic cross-borehole analysis can offer more reliable interpretational insight concerning lithological and geotechnical parameter variations compared to P-wave measurements on their own. However, seismic anisotropy can have a large influence on S-wave measurements, with the S-wave splitting into two modes. We present an inversion for parameters of VTI (transversely isotropic with a vertical symmetry axis) media. Our inversion is based on the traveltimes perturbation equation, using cross-gradient constraints to ensure structural similarity for the resulting VTI parameters. We first demonstrate the inversion on a synthetic dataset consisting of P-waves, vertically and horizontally polarized S-waves. Subsequently, we present inversion results for a dataset comprising jointly measured P-waves, vertically and horizontally polarized S-waves that were performed in a near-surface (< 50 m) aquifer environment (Safira research site, Zeitz, Germany). The inverted models show that the anisotropy parameters ϵ and δ are close to zero, with no P-wave anisotropy present. A high V_p/V_s ratio of up to nine causes considerable SV-wave anisotropy despite the low magnitudes for ϵ and δ . The SH-wave anisotropy parameter γ estimated to be between 0.05 and 0.15 in the clay and lignite seams. The S-wave splitting is confirmed by polarization analysis prior to the inversion. The results suggest that S-wave anisotropy may be more severe than P-wave anisotropy in near-surface environments, with high magnitudes of the SH-wave anisotropy parameter γ compared to very low magnitudes of the P-wave anisotropy parameter ϵ . Thus, S-wave anisotropy may be common in near-surface environments, where the S-wave may be much more sensitive to stress-induced anisotropy than the P-wave. This added sensitivity requires anisotropy to be taken into account when interpreting cross-borehole S-wave data, with the benefit that S-wave measurements may be well suited for 4D monitoring of remediation sites in near-surface environments.

BL-1.04

3D modelling of the Onega basin, northwestern Russia, from gravity and magnetic data and borehole information

M. Frey¹, J. Ebbing¹, A. Lepland²

¹CAU Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel, ²Norges geologiske undersøkelse, Trondheim, Norway

The Paleoproterozoic Onega Basin in northwestern Russia is an important geological archive for global events during oxygenation of Earth at 2.5-2.0 Ga. In this study, we make use of recent drilling results from the Fennoscandian Arctic Russia - Drilling Early Earth Project and the Onega Parametric Hole in combination with available gravity and magnetic data to illuminate the structure of the basin and its internal build-up. These drilling campaigns have provided new information on petrophysical properties (density, magnetic susceptibility) and stratigraphic thickness of the main horizons in the basin. We use this information in combination with gravity and magnetic data to construct a 3D crustal model of the basin with emphasis on its near-surface structure. Our near-surface structure is in agreement with previous findings and most of the gravity and magnetic anomalies are associated with known geological bodies. Modelling also suggests a lateral lithological subdivision of the upper Archean crust into three parts. The central crust has a higher magnetic susceptibility of 0.12 (SI) and lower density of 2.7 g/cm³, while the surrounding upper crust in the western and eastern edge region has lower magnetic susceptibility of 0.075 – 0.1 (SI), but a slightly higher density of 2.75 – 2.8 g/cm³. One possible explanation of the differences is the presence of highly magnetized magmatic rocks in the centre of the Onega region caused by magmatic activity resulting in lava flows and comagmatic shallow intrusions during the early Paleoproterozoic.

Bohrlochgeophysik // Poster

BL-P.01

Petrophysikalische und bohrlochgeophysikalische Untersuchungen zur Bestimmung elastischer und lithologischer Eigenschaften von Karbonatgesteinen

G. Beisembina

TU Berlin, Angewandte Geowissenschaften, Fachgebiet Angewandte Geophysik, Berlin

Das Territorium der Republik Kasachstan gehört zu den seismisch aktivsten Regionen der Welt. Zerstörerische Erdbeben fanden z.B. bei den Tien Shan Bergen (in Ost-Süd und Süd der Republik) in den Jahren 1812, 1906, 1944, 2009 mit Magnituden von 5,6 bis 8,0 statt. Außerdem gibt es in Ost- und West-Kasachstan aktive Bergbauarbeiten seit 1940. Bei tausenden Bohrungen für die Erdöl- und Erdgasexploration wurden diverse technische Arbeiten zur Erhöhung der Öl- und Gasfördermenge durchgeführt, z.B. Gas- und Wasserinjektionen in die Formation. Diese Maßnahmen der praktischen Feldarbeit führen zu Spannungen in den Gesteinsschichten. Der Abbau dieser Spannungen kann dann zu anthropogen induzierten Erdbeben führen.

Das Hauptziel der Arbeit ist die Abschätzung der potenziellen seismischen Gefahr in Gebieten, wo intensive Bergbauarbeiten durchgeführt wurden. Auf der Grundlage petrophysikalischer und geophysikalischer Untersuchungen werden die Faktoren, die die induzierte Seismizität beeinflussen, betrachtet.

Neben diversen Gesteinen besitzen in Kasachstan insbesondere die Karbonate wirtschaftliche Relevanz: Öl- und Gas-Vorkommen sind meistens in Karbonatformationen, aber auch im Bergbau und als Baumaterial sind diese Gesteine von Interesse.

Aus diesem Grund wurden Karbonate mit unterschiedlichen Porenraumstrukturen und lithologischen Eigenschaften für eine detaillierte mineralogische und petrophysikalische Analyse zusammengestellt, z.B. Kalksteine der Lokation Rüdersdorf in Deutschland und Karbonate aus West-Kasachstan.

Aus den petrophysikalischen Analysen, z.B. NMR, komplexe elektrische Leitfähigkeit, Ultraschallmessungen und Gammaskpektrometrie, werden porenraumcharakterisierende Eigenschaften wie Porosität, Permeabilität und innere Porenraumoberfläche abgeleitet und mit unabhängigen Laborbestimmungen verglichen. Im Weiteren werden, ausgehend von den festgestellten Korrelationen, elastische Eigenschaften für die verschiedenen Karbonatlithologien abgeleitet.

Schlüsselwörter: anthropogene indizierte Erdbeben, die Karbonate, petrophysikalische Analyse, komplexe elektrische Leitfähigkeit.

BL-P.02

Geophysikalische Charakterisierung der Technikumsanlage Horizontalfilterbrunnen

M. Lay¹, T. Daffner², F. Börner³

¹Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V., Dresden, ²Umweltbüro GmbH Vogtland, Weischlitz, ³Technische Universität Berlin, Angewandte Geowissenschaften/ Angewandte Geophysik, Berlin

Die Technikumsanlage Horizontalfilterbrunnen wurde im Rahmen des vom BMWi geförderten Kooperationsprojektes „Geophysik für Horizontalfilterbrunnen“ an der Umweltbüro GmbH Vogtland in Weischlitz errichtet. Sie dient der kontrollierten Erprobung von Methoden zur Untersuchung und Behandlung von horizontalen Filtersträngen unter realitätsnahen Bedingungen.

Die Anlage besteht aus vier durch Filterstränge verbundene Segmente, die sich durch Filtertypen, Kiesmantel und Umgebungsgestein unterscheiden. Jedes Segment kann mit Grundwasser durchströmt werden, das von einem Brunnen über Regelarmaturen individuell nach Menge und Beschaffenheit zur jeweiligen Segment-Außenfläche geleitet wird. Die Durchflusswerte im Gesamtzustrom betragen zwischen 5 m³/h und 21 m³/h. Über die Filterstränge und einen Kugelhahn gelangt das Wasser aus der Anlage heraus. Analog zu den Horizontalfilterbrunnen ist ein Schieber im Abstrom der Anlage eingebaut. Damit können die Segmente innerhalb der Filterstränge differenziert oder gleichmäßig befahren werden.

Im Rahmen des Kooperationsprojekts wurde mit dem am DGFZ entwickelten

Messsystem HoriWell Inspector zwischen Frühjahr 2016 und Sommer 2018 mehrere Befahrungen in Abhängigkeit vom Zufluss durchgeführt. Dabei wurden die Zuflussanteile über ein Packerscheibenflowmeter und die Milieuparameter Temperatur, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Redoxspannung und Sauerstoffgehalt während der Bewegung der Sonde innerhalb der Filterstränge gemessen.

Die Ergebnisse zeigen Übereinstimmungen mit vergleichbaren Messungen in vertikalen Filterrohren und können unter Einbezug der Unterschiede in der Durchlässigkeit und Druckverteilung der einzelnen Segmente der Technikumsanlage analysiert werden. Zusätzlich wurden Zeitreihen an definierten Punkten entlang der Filterrohre registriert. Auf diese Weise konnten auch Tracerexperimente für die Messgrößen Temperatur, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit des Wassers realisiert werden. Dabei wurde die Tracerlösung von einem Anmischgefäß über eine Dosierpumpe in ein Segment der Anlage infiltriert. Das Messsystem HoriWell Inspector zeichnete sowohl den Durchbruch der Tracerfront, als auch den Rückgang der Messgröße auf das Ausgangsniveau im Innern des Filterstrangs auf.

Neben der Erprobung des Messsystems HoriWell Inspector kamen Geräte zur Reinigung und Regenerierung von Filtersträngen zum Einsatz. Die Anlage wird regelmäßig weiterentwickelt und kann entsprechend der möglichen Versuchsbedingungen ausgestattet werden.

BL-P.03

Korrektur von Gamma-Ray-Logs – ein Software-Tool für die Praxis

S. Busch, F. Orth, N. Helbing, J. F. Beck

Geologischer Dienst NRW, Krefeld

Im Rahmen der geologischen Landesaufnahme des GD NRW sind geophysikalische Bohrlochmessungen ein fester Bestandteil der Bohrungsaufnahme. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Messung der natürlichen Gammastrahlung der Gesteinsformation. So können lithologische Profile mit detaillierten Schichtabgrenzungen ermittelt und charakteristische Horizonte durch die Korrelation der Gamma-Ray-(GR-) Logs verschiedener Bohrungen identifiziert werden. Als eine von wenigen geophysikalischen Erkundungsmethoden können GR-Messungen sowohl in luft- oder fluidgefüllten Bohrungen als auch in offenen oder verrohrten Bohrlöchern durchgeführt werden.

Zur Vergleichbarkeit von GR-Logs, die von unterschiedlichen Bohrungen stammen und unter verschiedenen Bohrlochbedingungen gemessen werden, müssen die Messwerte um die spezifischen Störeinflüsse korrigiert werden. Dabei spielen insbesondere die Geometrie des Bohrlochs, die Art der Verrohrung (Einfach/Mehrfach) sowie das zum Zeitpunkt der Messung im Bohrloch vorhandene Medium eine wesentliche Rolle. So treten insbesondere im Bereich der Verrohrung und der Rohrmuffen unterschiedliche Dämpfungseffekte auf, die die Messwerte nachhaltig beeinflussen. Einfach anzuwendende Verfahren zur Ermittlung von Korrekturfaktoren für unterschiedliche Bohrlochbedingungen wurden bereits vielfach veröffentlicht. Eine detaillierte Korrekturrechnung kommt in der „kleinen“ Bohrlochgeophysik jedoch selten zum Einsatz, da die Kombination gängiger Korrekturverfahren für verschiedene Bohrlochbedingungen äußerst komplex werden kann und eine Vielzahl von Zusatzinformationen der Messung benötigt wird.

Beispiele aus der Praxis der Bohrlochmessungen für die geologische Landesaufnahme zeigen, dass Korrekturrechnungen die Aussagekraft der GR-Logs verbessern und das Risiko von Fehlinterpretationen reduzieren. Es wird ein Software-Tool vorgestellt, mit dem unter Angabe der spezifischen Bohrlochbedingungen automatische Korrekturrechnungen nach gängigen Verfahren durchgeführt werden. Die Korrektur der importierten Rohdaten kann zudem visuell überprüft und manuell angepasst werden. Der Export der korrigierten Messwerte im ASCII-Format ermöglicht eine plattformunabhängige Weiterverarbeitung der Daten.

BL-P.04

The Fate of Submarine Fresh Groundwater Offshore New Jersey

A. Thomas¹, S. Reiche¹, C. Clauser¹, M. Riedel², S. Buske²

¹RWTH Aachen University, Institute for Applied Geophysics and Geothermal Energy, Aachen, ²Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institute of Geophysics and Geoinformatics, Freiberg

The existence of submarine fresh groundwater has been recorded at several continental shelves around the world. Different mechanisms have been proposed to explain the emplacement and survival of such fresh water reservoirs; however, the dynamic preservation and lifetime of fresh groundwater in the offshore environment remains an open hydrogeological problem. The New Jersey passive margin represents one of the best documented occurrences of this phenomenon. We study the mechanisms and time scales of fresh groundwater preservation using numerical simulations based on a geologically representative model. Utilizing 2D depth migrated seismic and well data, we built a detailed hydrogeological model, with a vertical resolution of 10 m and a horizontal extent of 127 km. Our model captures the highly heterogeneous shelf environment and accounts for exponential porosity compaction trends measured on IODP 313 core data. Transient coupled simulations of groundwater flow, heat and salt transport cover the time period from late Pleistocene until today. They indicate that fresh water is preserved preferentially in low-permeability sediments and yield simulated borehole salinity profiles consistent with field observations. Further, our simulations show that fresh water intervals of a thickness of 200 m – 300 m and lateral extent of tens of kilometers may have been preserved from the Last Glacial Maximum until today. We find that approximately 30 % – 50 % of the initial freshwater volume remains preserved after 15 000 years of transient simulations, depending on the recharge boundary condition. Volume estimates of fresh water stored along passive margins around the world indicate a potentially important unconventional groundwater resource. Our results improve the understanding of submarine preservation of fresh groundwater through an interdisciplinary approach which integrates seismic imaging, hydrogeological modeling and high-performance numerical simulation.

EM-1.01

2D inversion of marine time-domain electromagnetic data to delineate an offshore aquifer in the Canterbury Basin, New Zealand

A. Haroon¹, A. Micalef², B. Weymer¹, K. Schwalenberg³, M. Jegen¹

¹Helmholtz Centre for Ocean Research, GEOMAR, Kiel,

²University of Malta, Marine Geology and Seafloor Surveying, Msida, Malta,

³Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR), B1.4 Marine Resource Exploration, Hannover

It is known that groundwater aquifers may be found along continental shelves worldwide, which experienced a maximum exposure during the last glacial maximum. These groundwater systems are only slowly adjusting to the new equilibrium of present-day conditions, resulting in meteoric groundwater occurrences offshore. These offshore aquifers may be a potential alternative source of drinking water to relieve water scarcity in arid coastal regions. However, there are a number of questions that still lack a clear understanding including the spatial geometry and dynamics of the aquifer systems, particularly the connectivity to coastal aquifers on land. One geophysical tool to study offshore groundwater is the time-domain controlled-source electromagnetic (CSEM) method that allows to map the spatial resistivity variation within the shallow seafloor. Presently, only a selected number of studies successfully applied marine CSEM to detect and quantify offshore groundwater aquifers in the shallow marine environment. The presented study is one of the few attempts to detect the offshore occurrences of groundwater at large spatial scales along a siliciclastic passive continental margin. In this study, we present the first 2D time-domain inversion models from almost 300 km of data collected in the Canterbury Basin, offshore the Southern Island of New Zealand. The study area contains a known groundwater reservoir at depths of 30 m below the seafloor and was investigated during IODP Expedition 317. The borehole logs are used to validate the measured CSEM data that was collected along 7 profiles. Here, we use a newly developed, state-of-the-art 2D time-domain finite element inversion algorithm to delineate the spatial extent of the groundwater body within the continental shelf. The resistivity model obtained from the profile intersecting with the IODP borehole shows increased resistivities at depth of the low salinity interval, which implies the presence of a brackish water layer. The inverted models generally reveal a transition of higher resistivity values within the gravel dominated and possibly groundwater carrying Canterbury Plain to lower resistivities further south.

EM-1.02

Challenging limitations for real-world Controlled-Source Electromagnetic modeling, a study from Etang de Thau lagoon, France.

R. Rochlitz¹, F. Bretaudeau², N. Coppo², M. Darnet², T. Günther¹

¹Leibniz Institut für Angewandte Geophysik, Hannover,

²Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Orléans, France

Within the last decades, frequency-domain and time-domain controlled-source electromagnetics (CSEM) developed from simple 1D studies with single transmitter-

receiver combinations in remote areas to complex 3D applications in increasingly challenging environments, influenced by large conductivity-contrasts, small-scale or large-scale anomalies and topography or anthropogenic noise sources. Even though computational resources have become increasingly available and techniques for modeling and inverting 3D datasets from marine, land-based or airborne setups have improved significantly, several restrictions remain.

We challenge finite element simulations for a costal CSEM setup, involving extremely shallow water depths with several square-kilometers extent, at the Etang de Thau lagoon, France. First, we investigate effects arising from approximations of the real-world geometry for the mesh generation, i.e., evaluating the coastline, interpolating bathymetry and topography, or modifying water depths. Second, displacement currents are considered for finite element modeling to show if significant differences at higher frequencies (10 kHz) between using either the full Maxwell equations or the diffusive approximation can be observed. Third, we present errors arising from continuous or discontinuous interpolation of electric and magnetic fields, which can significantly decrease the accuracy of the finite element solution at observation points in the vicinity of field discontinuities.

For this purpose, we enhanced the customizable electromagnetic modeling toolbox *custEM* to support not only topography but also bathymetry, efficient magnetic field simulations, as well as considering displacement currents. Recent improvements of the utilized finite element library *FEniCS* aid the simulation of the presented setup, which requires dealing with several millions of degrees of freedom. In this context, the performance of *custEM* increased significantly in terms of computation times and memory requirements. Finally, we cross-validate our results with an independent reference solution, based on finite volume modeling.

EM-1.03

Three-Dimensional Virtual Transient Electromagnetic Experiments for Volcanic Environments

C. Schneider¹, K. Spitzer¹, M. Hort²

¹TU Bergakademie Freiberg, Freiberg, ²Universität Hamburg, Hamburg

Volcanic activity as a natural hazard is a threat to life and infrastructure. Therefore, investigation and monitoring of volcanoes is crucial in mitigating volcanic risk. New monitoring techniques to observe pre-eruptive activity are best explored when installed at quite active volcanoes like Stromboli, Italy. Its activity is characterized by moderate explosions within regular intervals. According to common theory, this eruption pattern is generated by gas slugs rising inside the volcanic conduit and bursting at the magma air interface. These slugs measure some meters in diameter but up to hundreds of meters in length. Due to the high conductivity ratio of magma to gas we assume that the transient electromagnetic method is capable of imaging gas slugs ascending within the volcanic conduit.

Therefore, we attempt to gain a better understanding of electromagnetic diffusion processes using so-called virtual experiments, which comprise a three-dimensional model incorporating information on material properties and an advanced geometry. In a first step, this includes the study of horizontal and inclined transmitter coils on a frustum model as well as simulations including a volcanic conduit and thus, numerically challenging conductivity distributions.

We present our three-dimensional simulation routine using Nédélec elements and rational Krylov subspace methods. Furthermore, we will visualize the effect of an inclined transmitter coil with respect to the spatial behavior of both the electric and magnetic field, and present preliminary results on imaging the gas slug ascent within the volcanic conduit.

EM-1.04

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

W. Mörbé¹, P. Yogeshwar¹, B. Tezkan¹, R. Rochlitz², M. Schiffler³, R. Stolz³

¹Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie, Köln, ²Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Hannover, ³Leibniz-Institut für Photonische Technologien, Jena

The objective of the BMBF funded DESMEX (Deep Electromagnetic Sounding for Mineral Exploration) project is the development of an electromagnetic exploration system which can be used for the detection and examination 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 the DESMEX project, 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 was derived, which serves as a reference model for the semi-airborne concept developed within DESMEX and will eventually be integrated into the final mineral deposition model. More than 170 E-Field datasets were recorded during two large scale DESMEX LOTEM surveys in 2016 and 2017. Additional magnetic field data were acquired with SQUID sensors (Leibniz-IPHT Jena). The recorded dataset exhibits a high data quality over the entire time range and the electrical field transients are well fitted using a conventional 1D inversion approach. However, the obtained models indicate a strong multidimensional subsurface with rather large variations in resistivity. For further interpretation, the LOTEM data are transferred into frequency domain. Obtained 1D inversion models of the LOTEM data in frequency domain are well comparable with the time domain results. Subsequently, a multidimensional inversion of the dataset in frequency domain was carried out, including electrical and magnetic (SQUID) field data. Here, we demonstrate that an evaluation of the acquired LOTEM dataset in frequency domain is suitable and discuss the obtained multidimensional inversion results.

EM-2.01

Novel approaches in processing of semi-airborne electromagnetic data

M. Schiffler¹, M. Cherevatova², M. Becken², M. Meyer³, R. Stolz¹

¹Leibniz Institute of Photonic Technology, Jena, ²Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Münster, ³Supracon AG, Jena

The goal of the project DESMEX (Deep Electromagnetic Sounding for Mineral Exploration) is the establishment of a new setup for electromagnetic prospecting of the earth's subsurface aiming at reaching exploration depths of down to 1 km. We introduce

a semi-airborne method tested over a target of an ancient antimonite mine in the area of Schleiz in October 2017 and 2016. It comprises large-moment transmitters designed as ground-based electrical dipoles, electric field receivers positioned on the ground, and ultra-sensitive magnetic field receivers on a helicopter-borne platform. Two transmitter signals at different base frequencies were simultaneously fed into the ground.

Investigations on how to separate the parts of the recorded magnetic field data in order to extract the secondary field part for each transmitter will be pursued in this work which involves a motion noise compensation with filtered reference signals, a rotation of measured the magnetic field vector into a local earth-fixed coordinate frame using high-precision attitude estimates and finally a compensation method for the primary field of the transmitters in the air. As a result, low noise transfer function between this secondary magnetic field and the transmitter signal will be gained. The aim of these steps is to prepare the data conforming the demands of the subsequent controlled-source electromagnetic inversion.

Herein, we want to focus on calculation of the primary magnetic field in the air which is carried out by using Biot-Savart's law and a high-precision digital elevation model in order to retrieve an accurate model of transmitter geometry. The transmitter cables are discretized into segments with a length of 10 m and the magnetic field produced by each current density vector element is calculated and integrated for each measurement sample.

We gratefully acknowledge the support of the ground crews of the University of Cologne, the Leibniz Institute of Applied Geophysics, the WWU Münster, and the Federal Agency of Geosciences and Resources.

EM-2.02

Integriertes 3D-Untergrundmodell aus HEM-, semi-airborne EM-, ERT- und LOTEM-Daten, sowie Geologie und Bohrlochmessungen aus einem Bergbauegebiet in Thüringen

A. Steuer¹, B. Preugschat¹, M. Cherevatova², W. Mörbe³, P. Yogeshwar³, T. Günther⁴, R. Rochlitz⁴, M. Schiffler⁵, T. Martin^{1,6}, L. Zampa¹, S. Costabel¹, F. Müller⁷

¹Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, ²Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Münster, ³Universität zu Köln, Köln, ⁴Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Hannover, ⁵Leibniz-Institut für Photonische Technologien, Jena, ⁶Lund University, Lund, Sweden, ⁷Technische Universität Bergakademie Freiberg, Freiberg

Im DESMEX-Projekt führte die BGR zusammen mit den Universitäten Münster, Köln und Freiberg, den Leibniz-Instituten für Angewandte Geophysik (LIAG) in Hannover und für Photonische Technologien (Leibniz-IPHT) in Jena, sowie den Firmen Supracon AG, Jena, und Metronix GmbH, Braunschweig geophysikalische Flüge in einem Bergbauegebiet in Thüringen durch. Das Ziel war, zwei im Projekt entwickelte semi-airborne Systeme zu testen. Bei diesen Systemen werden elektrische Hochstrom-Quellen am Boden mit Hubschrauber-basierten Messungen kombiniert. Dazu wurden hochempfindliche Induktionsspulen bzw. SQUID-Magnetometer entwickelt und als Empfangssensoren in die Flugsonden integriert.

Die neuen semi-airborne Systeme sollen zur Erkundung der elektrischen Leitfähigkeit in Tiefen von bis zu 1 km eingesetzt werden und damit vor allem der Exploration tiefer Lagerstätten dienen.

Eine erste Vorerkundung im Jahr 2015 mit dem erprobten geophysikalischen Hubschraubermesssystem der BGR umfasste die Methoden der Hubschrauber-Elektromagnetik (HEM), -Magnetik und -Radiometrie. Daraus lassen sich Aussagen über die elektrische Leitfähigkeitsverteilung bis zu einer Tiefe von 150 m, die magnetischen Eigenschaften des Untergrundes, bzw. die Zusammensetzung des oberflächennahen Materials ableiten. Neben geologischen Gesichtspunkten dienen die Ergebnisse der HEM als Entscheidungsgrundlage für die Festlegung des Messgebiets für die erste Anwendung der semi-airborne Systeme im Jahr 2017. Da die HEM eine begrenzte Erkundungstiefe hat, wurden im Rahmen der Vorerkundung zusätzlich großskalige bodengebundene Messungen (Electrical Resistivity Tomography (ERT) und Long-Offset Transient-Electromagnetics (LOTEM)) mit großen Zieltiefen durchgeführt. Die Ergebnisse hieraus dienen der Validierung der semi-airborne Ergebnisse. Neben den elektrischen und elektromagnetischen Methoden wurden auch Magnetik- und Gravimetriedaten modelliert.

Die Inversionsergebnisse der HEM-, der ERT- und der LOTEM-Daten wurden mit ersten 3D-Inversionsergebnissen der beiden semi-airborne Systeme abgeglichen, um ein integriertes Untergrundmodell zu erstellen. Ein geologisches 3D-Modell und eine große Anzahl von Lithologie- und Widerstandsprofilen tragen dazu bei, das integrierte Untergrundmodell zu vervollständigen. Oberflächennah wurde eine überraschend gute Übereinstimmung der Widerstandsmodelle mit der vorherrschenden Geologie festgestellt. Leitfähige Strukturen können glaubwürdig bis in eine Tiefe von etwa 1 km verfolgt werden.

EM-2.03

Zur elektrischen Leitfähigkeit des Asteroiden Ryugu

K.-H. Glaßmeier, D. Hercik, H.-U. Auster, D. Constantinescu

TU Braunschweig, IGeP, Braunschweig

Am 3. Oktober 2018 hat die japanische Raumsonde Hayabusa II den europäischen Lander MASCOT auf der Oberfläche des Asteroiden Ryugu abgesetzt. Ziel des Magnetometerexperimentes MasMag des MASCOT-Landers war es, die magnetischen Eigenschaften Ryugus zu untersuchen. Da der Asteroid in das zeitlich variierende Magnetfeld des Sonnenwindes eingebettet ist, besteht aber auch die Möglichkeit, die elektrische Leitfähigkeit dieses planetaren Körpers zu untersuchen. Zeitlich fluktuierende Magnetfelder bedingen elektro-magnetische Induktionseffekte. Induzierte Felder sollten insbesondere bei höheren Frequenzen auftreten. Ein Vergleich der induzierenden mit den induzierten Feldern erlaubt dann eine Abschätzung der globalen elektrischen Leitfähigkeit. Da nur Messungen der zeitlichen Magnetfeldvariationen an der Asteroidenoberfläche, aber keine direkten Messungen des induzierenden Sonnenwindmagnetfeldes zur Verfügung stehen, werden typische spektrale Verteilungen des interplanetaren Magnetfeldes als Maß für die induzierenden Felder

herangezogen und mit den induzierten Feldern an der Oberfläche des Asteroiden verglichen. Die daraus resultierenden Schätzungen für die asteroidale elektrische Leitfähigkeit wird vorgestellt.

EM-3.01

Time-lapse horizontal borehole GPR to investigate spatial soil water content variability for different soils, climate conditions and crops at the field plot-scale

A. Klotzsche, L. Lärm, J. Vanderborght, H. Vereecken, J. van der Kruk

Forschungszentrum Jülich, Agrosphere IBG-3, Jülich

Mapping and monitoring soil water content (SWC) variability of the near surface is essential to improve our understanding of energy, water and mass fluxes in soil-plant systems. Thereby, SWC varies spatially and temporally as a result of subsurface heterogeneities, meteorological conditions, e.g., infiltration and evaporation, and vegetation influences. Ground penetrating radar (GPR) is well suited to map SWC changes in a fast and efficient manner because of the method's high sensitivity to water. At the TERENO test site Selhausen (Germany), two mini-rhizotron setups were installed allowing access to the subsurface via horizontal boreholes to investigate the SWC variability for different conditions. The two rhizotrons are situated within different soil units with different hydraulic properties and enable the collection of horizontal borehole GPR data to monitor SWC at depths between 0.1m-1.2m and for different treatments (rain fed, sheltered, and irrigated conditions). The horizontal boreholes are separated by 0.75m and have a length of 6m.

Here, we present time-lapse horizontal borehole GPR data acquired over a time period of 5 growing seasons. Zero-offset profiles using 200 MHz Antennae for each depth and plot were measured on a weekly basis. Thereby, the spatial and temporal changes for different soils, climate conditions and crop types were investigated. From 2014-2016, the measurements were carried out for wheat, and from 2017-2018 for corn. The obtained data were investigated by analyzing the overall mean SWC at every depth to show the temporal changes in comparison with the meteorological and atmospheric conditions (temperature, precipitation and evapotranspiration). Since the lower rhizotron is situated in a silty-loam soil, the observed SWC is higher compared to the upper rhizotron site which is in soil with a high stone content. Generally, we observed that the vertical variability is larger than the lateral variability. For very dry conditions the corn showed distinct SWC patterns, while the wheat showed a more homogenous distribution of the SWC. The time series of horizontally averaged SWC for all three plots clearly show a clear response of the soil to precipitation, irrigation and drying (sheltered plot) events during the growing periods. To access hydrological properties using the GPR time-lapse data, a coupled hydrogeophysical inversion was implemented and first synthetic results show promising results.

EM-3.02

Untersuchung von Signalmerkmalen des Radarverfahrens zur Feuchtemessung an Estrichen

T. Klewe¹, C. Strangfeld¹, S. Kruschwitz^{1,2}

¹Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin, ²Technische Universität Berlin, Berlin

Das elektromagnetische Radarverfahren ist mit seiner starken Sensitivität für Wasser längst eine etablierte Methode zur zerstörungsfreien Feuchtemessung. Besonders bei geophysikalischen Aufgabenstellungen erfreut es sich großer Beliebtheit, doch auch an Baustoffen wird es immer häufiger zur Ortung von schadensträchtigen Wasser eingesetzt. Somit liefert die Literatur bereits zahlreiche Signalmerkmale, welche einen Rückschluss auf die Feuchte des untersuchten Mediums zulassen. Die Eignung dieser Signalmerkmale zur Messung an Estrichen wurde in Laborstudien anhand des Austrocknungsprozesses nach der Herstellung untersucht. Hierbei kamen zement- und anhydritgebundene Estriche unterschiedlicher Schichtdicke zum Einsatz, wobei die Darr- und die Calciumcarbid-Methode als Referenzverfahren dienten. In der Auswertung erwiesen sich besonders die klassischen Merkmale aus dem Zeitbereich (Amplitude, Laufzeit) als robuste Methoden zur Feuchtemessung. Bei kleinen Schichtdicken und niedrigen Feuchtegehalten ist die Auswertung der klassischen Merkmale jedoch fehleranfällig, v.a. weil die (automatisierte) Separierung von direkter und Reflexionswelle nicht mehr eindeutig ist. Dies wirkt sich besonders auf die jeweiligen Frequenzanteile aus, die i.d.R. nicht zu den klassischen Feuchte-Merkmalen gehören. In weiterführenden Untersuchungen soll der Mehrwert durch multivariate Datenauswertung und Ansätze des maschinellen Lernens geprüft werden. Übergeordnetes Ziel ist der Einsatz des Radarverfahrens an geschichteten Fußbodenaufbauten zur automatisierten und zerstörungsfreien Lokalisierung von Feuchteschäden.

EM-3.03

3D FDTD Georadar Simulationen zur Kampfmitteldetektion unter Einbeziehung von Antennenmodellen

S. Stadler, S. Schennen, J. Igel

Leibniz Institut für Angewandte Geophysik, S2 - Geoelektrik & Elektromagnetik, Hannover

Die Kampfmitteldetektion mittels Georadar trägt vermehrt dazu bei, von Kampfmitteln belastete Gebiete zu räumen und die Regionen wieder ungefährlich und für die Öffentlichkeit nutzbar zu machen. Es werden 3D FDTD Simulationen von Georadar Detektions-Szenarien durchgeführt, welche genaue und detaillierte Studien solcher Probleme ermöglichen. Dies soll dazu führen, die Georadar-gestützte Detektion zu optimieren und zu beschleunigen und die Auswertung von Daten zu vereinfachen. Ausschlaggebend ist hierbei die numerische Modellierung der Antenne unter Berücksichtigung der Geometrie der Bauteile als auch der elektrischen Materialparameter. Dies ermöglicht eine genaue Wiedergabe der Antennencharakteristik in den Simulationen. Mit solchen Antennenmodellen können

realistische synthetische Georadardaten simuliert werden, welche beispielsweise auch die Antennenkopplung an den Untergrund, frequenzabhängige Bodenparameter als auch die Bodenheterogenität berücksichtigen.

EM-3.04

GPR Full-waveform inversion: Current state and future challenges

A. Klotzsche, T. Liu, A. Mozaffari, H. Vereecken, J. van der Kruk

Forschungszentrum Jülich, Agrosphere IBG-3, Jülich

To enhance our understanding of small-scale, shallow subsurface processes, high resolution geophysical methods are essential to provide an improved characterization of the physical properties. Full-waveform inversion (FWI) of ground penetrating radar (GPR) data has shown in the last decade a huge potential to provide sub-wavelength high-resolution images through the electromagnetic properties: dielectric permittivity (related to wave velocity); and electrical conductivity (related to the wave attenuation). Both properties can be linked to hydrological relevant parameters. While the permittivity can be transformed into porosity/soil water content, the conductivity can be related to soil texture and salinity of the subsurface.

Here, we present an overview of state of the art methodological developments of crosshole and surface GPR FWI. Several applications for surface and crosshole GPR FWI will be discussed. Thereby, we show that we are able to obtain higher resolution quantitative medium properties compared to conventional ray-based methods. For crosshole GPR FWI, commonly gradient-based inversion methods are used that return 2D images of the subsurface with decimeter-scale resolution. This method requires good starting models to prevent the inversion from being trapped in local minima. Because of the limited amount of data provided by common-offset surface measurements, a combined global and local search or shuffled complex evolution (SCE) algorithms is used to derive a limited number of unknown parameters, e.g., layer properties or depth of cylindrical reflectors.

Recent advances in the capabilities, performance and speed of 3D Finite-Difference-Time-Domain (FDTD) forward modeling has enabled the use of improved 3D instead of 2D GPR models within our FWI approaches. Recently, we have coupled our crosshole FWI approach with `gprMax3D` which enabled us to include realistic antennae models and borehole fillings into the models to approach reality as close as possible. Future developments include the inversion of time-lapse GPR data, and gradient-based multi-channel on-ground GPR FWI.

EM-4.01

Charakterisierung der hydraulischen Untergrundeigenschaften durch Kombination von Georadar, Oberflächen-NMR und Geoelektrik

J. Igel¹, C. Jiang^{1,2}, R. Dlugosch¹, T. Günther¹, M. Müller-Petke¹, J. Helms³, J. Lang³, J. Winsemann³

¹Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Hannover,

²Jilin University, College of Instrumentation and Electrical Engineering, Changchun, China, Volksrepublik,

³Leibniz Universität Hannover, Institut für Geologie, Hannover

Mittels geophysikalischer Verfahren können Aquifersysteme zerstörungsfrei von der Oberfläche aus charakterisiert werden, was besonders hilfreich ist, wenn keine Bohrungen vorhanden sind oder die Sedimente / Gesteine im Untergrund lateral stark variieren. Dabei kann das Georadar (GPR) ein hochauflösendes Abbild oberflächennaher geologischer bzw. sedimentologischer Strukturen liefern. Das Verfahren gibt aber nur limitierte Informationen über die hydraulischen Eigenschaften des Untergrunds. Oberflächenmessungen der Nuklearmagnetische Resonanz (SNMR) hingegen können diese Eigenschaften wie Wassergehalt (Porosität) und hydraulische Leitfähigkeit liefern, sind aber in ihrer räumlichen Auflösung beschränkt und benötigen Informationen der elektrischen Leitfähigkeitsverteilung im Untergrund, die beispielsweise mittels Geoelektrik (ERT) erfasst werden kann.

Wir stellen einen Workflow zur Methodenkombination der drei Verfahren GPR, SNMR und ERT zur Ableitung eines hochaufgelösten Abbilds der hydraulischen Untergrundeigenschaften vor. Solche Modelle bilden die Grundlage für systematische hydraulische Untersuchungen mittels Grundwassermodellierungen. Dabei werden die Georadarreflektoren verwendet, um die Regularisierung der SNMR und ERT Dateninversion zu optimieren, in dem sie als strukturelle Constraints eingebaut werden, was die Abbildung signifikant verbessert.

Diese Methodik wird exemplarisch auf ein Testgebiet angewendet, das sich durch einen komplexen Aufbau des quartären Untergrundes auszeichnet. Dort wechseln hydraulisch gut leitende Schmelzwasser-Sande und -Kiese mit grundwasserstauendem Geschiebemergel. Mittels GPR konnte sowohl die Oberfläche des Geschiebemergels als auch sedimentologische und glazitektonische Strukturen innerhalb des obersten Aquifers flächenhaft abgebildet werden. Auf einem Profil wurden sowohl ERT als auch mit einer Multi-Kanal SNMR-Aufstellung gemessen und die Daten invertiert. Die Abbildung der Untergrundeigenschaften wird dabei durch Hinzunahme der strukturellen GPR Constraints weiter verbessert und das abgeleitete Untergrundmodell konnte durch Vergleich mit Bohrlochmessungen und der Analyse von Bohrkernen bestätigt werden. Weiterhin zeigt sich die Überlegenheit des gemeinsamen Ansatzes über die Ergebnisse der jeweiligen Einzelmethoden.

EM-4.02

COMET – eine Python-Toolbox zur gemeinsamen Auswertung von MRT und ERT Daten

N. Skibbe, T. Günther, R. Rochlitz, M. Müller-Petke

Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Hannover

Magnetresonanz-Messungen können wertvolle Hinweise auf Struktur und hydraulische Eigenschaften in Aquifer-Systemen geben. Die Technik hat sich in den letzten Jahren so entwickelt, dass effiziente 2D-Messungen als Tomographie (MRT) möglich geworden sind. Eine notwendige Voraussetzung ist die Kenntnis der Leitfähigkeitsverteilung, die man z.B. über elektrische Widerstandstomographie (ERT) besorgen kann. Beide Methoden unterliegen jedoch Limitationen im Auflösungsvermögen. Eine strukturelle Kopplung der drei Ziel-Parameter Wassergehalt, Relaxationszeit und Leitfähigkeit in der Inversion kann dabei das Auflösungsvermögen deutlich verbessern und letztlich zu einfacher interpretierbaren Modellen führen, die in eine Grundwasser- und Stofftransport-Modellierung Eingang finden kann.

Im Rahmen des DFG-geförderten Projekts COMET (COupled Magnetic Resonance and Electrical Resistivity Tomography) wurde ein Open-Access-Code entwickelt, der sich auf diese Aufgabe fokussiert. Er beinhaltet die Berechnung der Magnetfelder für beliebige Leitfähigkeitsverteilungen und Spulen, die Berechnung von 1D/2D/3D-Kernfunktionen, und die Inversion der NMR-Daten, sowohl einzeln als auch gekoppelt mit ERT. Für die Berechnung der Magnetfelder für 2D-Leitfähigkeitsstrukturen (wie aus der ERT-Inversion) wird das Open-Source-Paket custEM (customizable Electromagnetic Modelling) eingesetzt, das mit Finite Elementen Methoden arbeitet. Alle Codes wurden in Python geschrieben und setzen auf das pyGIMLI-Framework auf. Wir zeigen die Wirkungsweise der Toolbox anhand mehrerer Beispiele und demonstrieren die Kopplung der Methoden zunächst an synthetischen und gemessenen 1D-Daten. Weiterhin wird die Methodik auf synthetische und gemessene 2D-MRT/ERT angewendet und beispielhaft gezeigt wie zweidimensionale hydraulische Modelle abgeleitet werden. Damit werden alle Projektziele erreicht und der Wissenschaftlichen Gemeinschaft ein Tool für Magnetresonanz-Messungen hinterlassen.

EM-4.03

Ermittlung des Flüssigwasseranteils in Sandsteinen mittels NMR und relativer Luftfeuchte

S. Nagel¹, C. Strangfeld¹, S. Kruschwitz^{1,2}

¹Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin,

²Technische Universität Berlin, Bauingenieurwesen, Berlin

Die zerstörungsfreie Erfassung der Feuchteverteilung im Porensystem eines Baustoffes ist in der zerstörungsfreien Prüfung (ZfP) von großer Bedeutung, da Feuchte (i. d. R. in Form von Flüssigwasser) ein hohes Schadenspotential für die Materialien und Konstruktionen aufweist. Für die Lokalisierung möglicher Schad- oder Risikostellen und die Einleitung von Präventionsmaßnahmen sind vor allem Kenntnisse über das Porengefüge und Feuchtetransportmechanismen im Baustoff erforderlich. Derzeit besteht allerdings eine wesentliche Problematik in der Erfassung und Quantifizierung von Feuchteverteilungen bei Teilsättigung.

In der ZfP stellt die Nuklear Magnetische Resonanz (NMR) ein geeignetes Verfahren zur Feuchtedetektion dar. Mit diesem Verfahren lassen sich prinzipiell Relaxationszeiten von Wasserstoffprotonen in Abhängigkeit von ihrer Bindungsart und der Porenumgebung messen. In Baustoffen dominieren jedoch die Signalanteile des freien (schadensträchtigen) Wassers zumeist stark. Und eine derzeit noch ungeklärte Frage ist, ob bei Materialien mit sehr breiten Porengrößenverteilungen größere teilgesättigte von kleineren vollgesättigten Poren durch unterschiedliches Relaxationsverhalten unterschieden werden können.

In dieser Arbeit wird die Eignung von NMR für die Ermittlung von Feuchteverteilungen in Naturstein sowohl bei Voll- als auch bei Teilsättigung untersucht. Die Bestimmung des Flüssigwasseranteils in teilgesättigten Poren soll dabei durch eine Korrelation von NMR und relativen Luftfeuchten erfolgen. Dazu werden 12 verschiedene Sandsteinproben, deren Poren(eingangs-)größenverteilungen mit der Quecksilberporosimetrie bereits ermittelt wurden, untersucht. Die Proben werden in einem Klimaschrank bei 23°C und relativen Luftfeuchten von 40 bis 90% schrittweise aufgesättigt. Nach Abschluss jedes Auf sättigungsschrittes werden mit der NMR-Relaxometrie die T₂-Relaxationszeitenverteilungen bestimmt. Durch die Nutzung eines weiterentwickelten Ansatzes von Hillerborg lassen sich schließlich zu jeder Luftfeuchte die adsorbierte Wasserfilmdicke und somit der Porensättigungsgrad berechnen. Mithilfe dieser Zusatzinformation ist eine genauere Analyse der Relaxationszeitenverteilungen bei Teilsättigung möglich. Am Ende dieser Arbeit soll erstmals der Zusammenhang des Wassersignals und dem Porensystem eines Baustoffes mit multimodaler Porengrößenverteilung bei Teilsättigung aufgezeigt werden.

EM-4.04

Ortsaufgelöste NMR-Relaxometrie an mineralischen Baustoffen

S. Kruschwitz^{1,2}, L. Stelzner¹, S. Nagel¹, C. Strangfeld¹, R. Dlugosch³, F. Weise¹, M. Mützel⁴

¹Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin, ²Technische Universität Berlin, Berlin, ³Leibniz Institut für Angew. Geophysik, Hannover,

⁴Pure Devices, Würzburg

Zahlreiche Schädigungsprozesse in Baustoffen stehen im engen Zusammenhang mit Feuchteintrag und Feuchtetransport. Als Beispiel sind die schädigende Alkali-Kieselsäurereaktion (AKR) von Beton sowie Frost-Tauwechsel induzierte Gefügeschäden genannt. Zur zerstörungsfreien, ortsaufgelösten Feuchtemessung eignet sich die im Bereich der Geophysik etablierte, aber im Bauingenieurwesen noch wenig verbreitete, Messmethode der Nuklear Magnetischen Resonanz (NMR). Unter Verwendung der NMR-Relaxometrie sind sowohl Aussagen zum Feuchtegehalt und dessen räumliche Verteilung als auch die Charakterisierung der Porengrößen möglich, die das Transportverhalten eines porösen Materials maßgeblich beeinflussen. Zur Erfassung der Mikro- und Mesoporen in Baustoffen ist dabei die Auflösung von kurzen T₂ Relaxationszeiten unabdingbar. Bisher ist es mit gängigen NMR-Laborgeräten nur begrenzt möglich, solche kurzen T₂-Zeiten schichtselektiv zu erfassen. Vor diesem Hintergrund wurde ein speziell für die Messung an mineralischen Baustoffen optimierter NMR-Tomograph beschafft. Dieser ermöglicht sowohl schichtselektive Messungen von Bohrkernen mit Durchmessern von bis zu 70 mm als

auch bildgebende Untersuchungen an Proben mit Durchmesser ≤ 40 mm. Erste Untersuchungsergebnisse an Sandstein, Tuffstein und Beton zeigen die Leistungsfähigkeit des neuen NMR-Tomographen zur Erfassung der porengrößenspezifischen Feuchteverteilung. In diesem Beitrag werden erste Ergebnisse verschiedenartiger Laborversuche exemplarisch dargestellt.

Für Sandsteine mit unterschiedlichsten Porengrößenverteilungen wurden mit dem neuen NMR-Tomographen und einem herkömmlichen NMR-System vergleichbare T2 Zeitenverteilungen ermittelt. Am sehr heterogenen Tuffstein konnten unterschiedlich poröse (und feuchte) Bereiche räumlich aufgelöst werden. Im Beton ließ sich der Feuchtetransport im Zementstein porengrößenspezifisch, schichtselektiv und zeitlich aufgelöst verfolgen.

Die bisher gewonnenen Ergebnisse zeigen das breite Anwendungsspektrum des neuen NMR Tomographen auf und ermöglichen ein besseres Verständnis des Feuchtetransports und der oft damit einhergehenden Schädigungsprozesse in Baustoffen.

EM-4.05

Der Einfluss nicht-adiabatischer Stromabschaltung auf die Präpolarisationseffektivität von Oberflächen-NMR Messungen

T. Hiller¹, R. Dlugosch², M. Müller-Petke¹

¹Leibniz Institute for Applied Geophysics, Department of Geoelectrics & Electromagnetics, Hannover, ²Leibniz Institute for Applied Geophysics, Department of Rock Physics & Borehole Geophysics, Hannover

Oberflächen-NMR ist eine seit mehreren Jahren etablierte Methode zur hydrologischen Charakterisierung des Untergrundes bis in max. 150m Tiefe. Mit den vorhanden 1D und 2D Messkonfigurationen ist es möglich aus den Oberflächen-NMR Messungen, die räumliche Verteilung von Wassergehalt (Porosität) und hydraulischer Leitfähigkeit abzuleiten. Aufgrund der Nutzung des Erdmagnetfeldes und des damit verbundenen geringen Signal-Rausch-Verhältnisses, ist der Einsatz von Oberflächen-NMR vor allen in urbanen Gebieten und auf Flächen mit geringem Wassergehalt (z.B. vadose Zone) nur begrenzt möglich. Abhilfe, vor allem im oberflächennahen Bereich, verspricht hier der Einsatz von Präpolarisations-Spulen, welche das messbare Signal in Abhängigkeit von der verwendeten Präpolarisations-Stromstärke, um bis zu zwei Größenordnungen erhöhen können. Die theoretisch erreichbare maximale Signalverstärkung ist jedoch stark von der Abschaltcharakteristik des Präpolarisationspulses abhängig. Nur bei perfekt adiabatischer Abschaltung wird die Signalamplitude maximal verstärkt. Jedoch ist es in der Praxis aus gerätespezifischen Gesichtspunkten nicht immer möglich, eine ideale adiabatische Abschaltung zu gewährleisten. Um die Auswirkungen dieser nicht-adiabatischen Abschaltung zu quantifizieren, haben wir eine numerische Parameterstudie durchgeführt, welche den Einfluss von Rampenform, Rampenlänge sowie Stärke und Richtung des Präpolarisationsfeldes im Vergleich zum Erdmagnetfeld untersucht. Für die Modellierung der zugrundeliegenden NMR-Spindynamik wurde unsere selbstentwickelte Software BLOCHUS genutzt. Wir können zeigen, dass je nach Rampenform und -länge, die Verstärkung der Signalamplitude um bis zu 30%, gegenüber dem theoretischen Idealfall, verringert wird. Infolgedessen, hätte die Nichtberücksichtigung dieses Effektes, eine Unterschätzung des Wassergehaltes um diesen Betrag zur Folge.

EM-P.01

Realistische 3D-Simulation von Georadar-Daten im sedimentologischen Kontext

P. Koyan, J. Tronicke

Universität Potsdam, Institut für Geowissenschaften, Potsdam

In der angewandten Geophysik stellt die Modellierung synthetischer Referenzdatensätze eine wichtige Grundlage sowohl für die Evaluation grundlegender Schritte der Signalbearbeitung als auch für die Entwicklung komplexer Ansätze zur automatisierten Interpretation und/oder Inversion dar. Existieren solche Datensätze in der Seismik für eine Vielzahl geologischer Milieus, ermöglichen erst die moderne Entwicklung entsprechender Modellierungswerkzeuge sowie die Verfügbarkeit rechenkräftiger Grafikprozessoren die flächendeckende Generierung synthetischer 3D-Georadar-Daten mit adäquatem Zeitaufwand.

Wir präsentieren die Ergebnisse einer realistischen 3D-Georadarmodellierung auf Basis eines Porositätsmodells eines fluvio-glazialen, sedimentären Milieus. Das 16 m lange, 10 m breite und 7 m tiefe Untergrundmodell wird durch 10 Hydrofazies definiert. Auf Basis der faziesspezifischen Unsicherheiten der Porosität erstellen wir ein realitätsnahes Modell, welches Heterogenitäten auf diversen räumlichen Skalen aufweist. Unter Verwendung klassischer petrophysikalischer Beziehungen sowie unter Annahme vollgesättigter Medien leiten wir Modelle der dielektrischen Permittivität und der elektrischen Leitfähigkeit ab. Diese in jede Raumrichtung mit 0,025 m aufgelösten Modelle nutzen wir, um einen 3D-Georadar-Datensatz (100 MHz) mit einem konstanten Antennenabstand von 0,5 m mit dem frei zugänglichen Softwarepaket *gprMax* zu simulieren. Die praxisnahen Spurbstände von 0,05 m und 0,2 m entlang bzw. senkrecht zur Profilrichtung resultieren in 51 Georadar-Profilen mit einer Länge von jeweils 15,50 m binnen einer Rechenzeit von einigen Wochen auf einem modernen Grafikprozessor.

Als Ergebnis der Modellierung erhalten wir einen realitätsnahen 3D-Georadar-Datensatz, welcher nun als Grundlage für weitere Studien dient, um das Potential des Verfahrens zur Abbildung sedimentärer Strukturen zu evaluieren und zu verbessern. Exemplarisch zeigen wir das Ergebnis der Strukturabbildung nach Anwendung einer etablierten 3D-Bearbeitungssequenz. Ein Vergleich des Results mit den Eingangsmodellen zeigt sowohl den Erfolg der hier präsentierten Modellierungsstudie als auch das Potential und die Limitationen der gewählten Bearbeitungs- und Auswertestrategie. Neben der Evaluation neuartiger Bearbeitungs- und Interpretationsansätze anhand dieses synthetischen Datensatzes ist zukünftig auch die Modellierung verschiedenster Akquisitionsgeometrien auf Basis des vorgestellten Untergrundmodells denkbar.

EM-P.02

Application of the background electromagnetic field to increase resolution GPR sensing

Y. Savvateev

Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

A number of geophysical methods are used to detect communications, including GPR sounding. Improving the accuracy of detection of communications, i.e. the accuracy of determining the depth of occurrence contributes to an increase in the resolution of the method used. To test the theoretical possibility of increasing the resolution of georadar sensing, the experimental work was carried out using a combined antenna block of the GPR with a frequency of 150 MHz together with a device for creating a background field (backlight field).

The idea of using a background field (backlight field) is not new. Similar examples are known, for example, in the form of an impact on the environment of an elastic (seismic) field and a change as a result of this impact of its conductivity. A possible hardware implementation of the resolution enhancement may be a linear transformation of the received wave of the radio frequency range into a low, sound one, known in the theory of propagation of radio waves as a heterogeneous reception. The interaction of waves manifests itself in the form of spatial beats, the effect of low-frequency energy pumping occurs, which periodically occurs from the background wave to the GPR wave. The absolute values of the corrections were (for the depth marks) from 0.10 m to 0.50 m. When determining the increase in depth resolution, it suffices to trace the position of the first arrivals of the received signal.

EM-P.03

Analysis of Electrical Resistivity variations in the Santiago Basin (Chile) Using Transient Electromagnetic

B. Blanco¹, D. Diaz², P. Yogeshwar¹, B. Tezkan¹

¹Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie, Köln,

²Universidad de Chile, Departamento de Geofísica, Santiago de Chile, Chile

The Santiago basin is located in central Chile within the Central Depression and the geomorphological unit located between the Coastal Cordillera and the Western Cordillera. Santiago city is the main urban location of the country, with an areal extension of about 900 km², and inside basin. The valley is mainly formed by quaternary deposits, with various sedimentary infill. The following bedrock originates from volcanic processes dated Late Oligocene to Early Miocene. The bedrock composition is inferred from outcrops in the basin.

To characterize the sedimentary infill of the Santiago basin, the Transient Electromagnetic (TEM) method was applied in different places of Santiago city. In this study, we acquired 47 soundings, which were processed in the first step qualitatively by analyzing the apparent resistivity, and in the second step by deriving 1D models. From the TEM models the electrical resistivity structure of the subsurface can be

derived as a function of depth down to approximately 250 m. Our TEM results were supported by gravimetry surveys as well as static level shift information and stratigraphic information from several studies in basin.

The 1D models indicate an exploration depth of partly 250-300 m. Few soundings at the valley edges indicated a resistivity increase between 100 - 250 m, interpreted as bedrock. The occurrence of resistive layers at significant depths (> 150 m) for soundings located in the central basin area is supposed to correlate with consolidated sediment deposits, residual soil and/or weathered bedrock. Latter is possibly the transition to a crystalline bedrock.

In general, at shallow depths fine sediments (silt and/or clay), sands and/or saturated sediment fills northwestward, gravel and/or sands deposits wet northward and gravel and/or sands deposits dry southward of the study zone are present. The deposits were associated with a wide range of electrical resistivity values and, based on the geology of the area, we concluded a rather heterogeneous basin. The distribution of the sedimentary infill is associated with the form and deposition stages of alluvial fans.

EM-P.04

Using ground penetrating radar to image meerkat burrows (*Suricata suricatta*)

S. Hildebrandt

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

The slender-tailed meerkat is a small fossorial carnivore whose habitats are arid and semiarid open landscapes in the south of the African continent. Its burrow structures were studied previously by excavating, scaling and sketching them on graph paper. In this study tunnels and sleeping burrows of slender-tailed meerkats were investigated using ground penetrating radar (GPR). To account for the roughness of the study area Fresnel volume migration was adapted to cases with strong topography. The newly implemented topography adjusted Fresnel volume migration algorithm was able to enhance image quality conspicuously in comparison with simple topography correction. In order to adapt the migration process to cases with strong topography the Fresnel volume was oriented and positioned vertically in accordance with the topographic slope or elevation, respectively.

The results of this study show that GPR is an adequate method to detect small scale animal burrows, even in rough and inaccessible terrain. Nevertheless the results do not show an interconnected system of tunnels and sleeping burrows as data density is too low for an adequate bin size.

EM-P.05

Detektion von Landminen und anderen Kampfmitteln auf unterschiedlichen Böden mittels 2D/3D GPR

S. Schennen, S. Stadler, J. Igel

Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Hannover

Die Zahl von Minenopfern ist in den vergangenen Jahrzehnten durch die Ächtung von Antipersonenminen erfolgreich reduziert worden. Jedoch stellen heutzutage Improvised Explosive Devices (IEDs) in Konfliktregionen eine weitaus häufigere Gefahr für die Bevölkerung dar. Diese improvisierten Sprengfallen sind aufgrund ihres weitestgehend metallfreien Aufbaus für klassische Suchsysteme wie Metalldetektoren kaum bzw. nicht sichtbar. Ergänzend oder alternativ kann das Georadar (GPR) benutzt werden, welches als elektromagnetisches Wellenverfahren z.B. auch auf in IEDs verbaute Flüssigkeiten oder auch Lufteinschlüsse sensitiv ist. Von wesentlicher Bedeutung für das Detektionsergebnis sind die petrophysikalischen Eigenschaften des Bodens, insbesondere dessen elektromagnetische Dämpfung und Heterogenität. Unser Beitrag widmet sich der petrophysikalischen Charakterisierung fünf verschiedener Böden/Substrate im Frequenzbereich von 0,1 – 10 GHz mittels dielektrischer Spektroskopie und setzt diese Eigenschaften in Relation zur GPR-Performance bei der Kampfmitteldetektion. Diese wird experimentell auf Testflächen mittels einer 1-Kanal Apparatur (400 MHz nom. Mittenfrequenz) und eines 3D Arrays (600 MHz nom. Mittenfrequenz) ermittelt. Unsere Ergebnisse zeigen, dass erwartungsgemäß die beste Performance auf einem Sandboden erreicht wird: sowohl Holz- als auch Plastik-, Munitionsobjekte und Kabel lassen sich bis in 40 cm Tiefe abbilden. Die Performance auf einem tonig-lehmigen Oberboden ist hingegen deutlich schlechter; Kabel und Holzobjekte sind kaum bzw. nicht erkennbar, Plastik- und Munitionsobjekte lassen sich nur schwer vom heterogenen Hintergrund unterscheiden.

EM-P.06

Review of airborne EM applications in Northern Germany

B. Siemon, A. Steuer, U. Meyer

BGR, Hannover

The German Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR) has been conducting airborne geophysical surveys worldwide for more than four decades. Most of these airborne surveys applied frequency-domain helicopter-borne electromagnetics (HEM) in combination with magnetic and radiometric measurements. The current HEM system (Resolve) operates at six frequencies ranging from 380 Hz to 130 kHz. The maximum investigation depth ranges from about 50 m to 150 m, depending on the conductivity of the subsurface.

Some recent HEM surveys focussed on the coastal area in Northern Germany. BGR conducted these surveys as part of several research projects and merged them within the BGR in-house project D-AERO. These datasets (6000 km², 25,000 line-km, 6.7 million data points) served and still serve as baseline data for a number of applications. The final HEM results as well as the magnetic and radiometric data are published online (geoviewer.bgr.de).

The HEM survey successfully revealed the lateral shapes and the thicknesses of the

fresh-water lenses of four East Frisian islands (Borkum, Baltrum, Langeoog, Spiekeroog). For example, the thicknesses of the fresh-water lenses of the island of Borkum derived from HEM resistivity-depth inversion models, which clearly indicate two separate fresh-water lenses, are very similar to old results derived from DC geoelectric soundings.

Seawater intrusion particularly occurs in coastal areas, where low-lying marshes exist. Due to their low elevation, these areas were periodically flooded in historic times and the saline water may occur and remain close to the surface, if shallow aquitards exist. The distribution of these aquitards correlates fairly well with the occurrences of medium conductive to conductive areas.

HEM maps not only seawater intrusion, but also the opposite effect – submarine groundwater discharge (SGD), which occurs, where sufficiently large hydraulic gradients exist and aquitards preclude an intermixture of fresh and saline water. We found examples for SGD within the Sahlenburg Watt, within the Jade Bay and in the Wadden Sea to the south of the island of Langeoog.

Buried (tunnel) valleys are widespread in Northern Germany. They were incised into the subsurface during the ice ages by subglacial erosion. Quaternary sediments refilled and covered these channel structures. HEM is able to detect such channels if the channel fill (often clayey sediments) differs from the host material (often sandy sediments).

EM-P.07

Using airborne EM to derive fresh-saline groundwater interfaces at the Jade Bay, Northern Germany

B. Siemon¹, A. Steuer¹, N. Deus², J. Elbracht²

¹BGR, Hannover, ²LBEG, Hannover

The Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR) conducted many airborne geophysical surveys in Northern Germany during the last decades. These coastal regions of Lower Saxony were investigated by frequency-domain helicopter-borne electromagnetics (HEM) to reveal the bulk resistivity of the subsurface (sediments and pore fluids) which enables to distinguish between saline and fresh water as well as between sandy and clayey sediments.

The State Authority for Mining, Energy and Geology (LBEG) is preparing a statewide “saltwater map” for Lower Saxony with a focus on the coastal aquifers influenced by seawater intrusion. For this purpose, the HEM resistivities are used in combination with groundwater data and a geological model to derive the fresh-water interface (FSI). As appropriate depth values are manually picked from vertical resistivity sections using a commercial modelling software (Skua Gocad, Paradigm), this procedure is time consuming. Therefore, we tested an alternative, which automatically derives the FSI directly from the HEM resistivity models. The ambiguity between brackish/saline water and clayey sediments as source for low resistivities can somewhat be reduced by the application of gradients instead of threshold values for searching an appropriate interface depth.

We compare results of both methods using a dataset from a coastal region at the Jade Bay. The thickness of fresh-water aquifers could be mapped onshore and offshore, even below a conductive cover such as clayey sediments saturated with saline water.

Generally, the manual approach provides shallower depth results than the automatic

approach. This is due to different targeting, because the manual approach searches for the drinking-water boundary, which corresponds to a chloride threshold of 250 mg/l, whereas the automatic approach reveals the centre of the fresh-saline transition zone, which corresponds to a 5-10 times higher chloride concentration. Besides this general offset, the smoothness of the inversion models has to be taken into account. That particularly affects approaches applying threshold values more than approaches using relative values such as gradients.

EM-P.08

Magnetic susceptibility in Australia using gravity data as a model constrain

Y. Dilixiati^{1,2}, J. Ebbing¹, W. Szwillus¹

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel,

²Seismological Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi, China, Volksrepublik

Magnetic data are widely used geophysical data for investigating the crustal structure. Joint inversion of aeromagnetic and/or satellite magnetic data can recover the susceptibility from surface to deep crust. Consequently, one can link resulting magnetic properties to underlying geological structure.

Magnetic inversions suffer from two limitations. Firstly, it is difficult to simultaneously determine magnetic properties and model geometry. Thus, information from other geophysical methods is required in addition to the magnetic data. Typically, it is assumed that the Moho boundary is the lower limit of magnetization. Secondly, magnetic susceptibility inversion problems are usually regularized using the classical Tikhonov approach. This forces the solutions to remain close to prior information. Due to the lack of detailed knowledge about underlying rock units and their properties, a priori information is usually unspecific and merely limits the solution to a wide range of plausible susceptibility values. As a result, the inverted susceptibility directly reflects the patterns of the original input data, but cannot reveal detailed structures. In principle, gravity data can provide additional constraints on geological units. However, gravity and magnetic data are often analyzed and inverted independently.

We propose a clustering inversion method that makes use of gravity and magnetic data to improve the recovery of susceptibility. An existing lithospheric density model is used to define different rock units by applying k-means clustering to the density distribution. The domains defined by these clusters are then used in a susceptibility inversion. Utilizing different priori information to these domains lead to plausible models of susceptibility which can be further analyzed.

We tested our approach on a high quality, large-scale magnetic compilation covering the entire Australia continent. The model geometry was constrained using an existing high-resolution lithospheric density model. We assumed that different clustering domains have different magnetic properties, namely different mean susceptibilities. To investigate the efficacy of our proposed method, we used the different combinations of a priori information for the clustering domains. We find that clustering inversion result can provide more detailed structures than magnetic data only inversion result.

EM-P.09

Comparison of magnetotelluric measurement systems MTU (Phoenix) and ADU (Metronix) using field data from Kasane (Botswana)

A. Thiede¹, C. Ramotoroko², A. Junge¹

¹Goethe Universität Frankfurt, Institut für Geowissenschaften, Frankfurt,

²Botswana International University of Science and Technology, Department of Earth & Environmental Sciences, Palapye, Botswana

The comparison of Metronix and Phoenix magnetotelluric measurement systems facilitates joint measurement campaigns using both systems. Phoenix Geophysics and Metronix are two leading companies offering measurement systems for audio magnetotelluric (MT) measurements. While Phoenix provides implemented data-processing software, data logger from Metronix deliver raw data, and calibration curves of magnetic coils are handed out separately. Processing of data collected with Metronix systems therefore can be done independently and transparently whereas data processing with Phoenix is non-transparent and depends on their own software. So far field surveys with Phoenix and Metronix systems in use pose a problem because the Phoenix data processing software is not compatible.

However, on a joint MT measurement survey at Kasane (Botswana) of BUIST (Botswana University of Science and Technology) and Goethe University we applied the systems ADU07, ADU07e and MTU-5A from Metronix and Phoenix, respectively. Since the town of Kasane is close to the measurement area, the noise production is assumed to be considerable. To reduce the noise we choose a field schedule to apply remote reference with the MTU system as remote so data processing has to be executed together.

A comparison of continuous timeseries from Phoenix and Metronix systems recording the same signal on each station delivers transfer functions between ADU and MTU stations. Therefore we did a comparative test measurement setting up all stations at the same spot. The transfer functions enable the processing of the field data from Kasane. Since reading in raw data from Phoenix stations is possible, but the software contains the coil calibration curves which cannot be exported, the transfer functions are limited to the use of the same Phoenix coils. Anyway, this test measurement shows a method to execute transparent and independent MT data processing using both measurement systems of Phoenix and Metronix in the field.

EM-P.10

1D joint inversion of HEM, LOTEM, and Semi-Airborne CSEM data - weighting and resolution analysis

J. Cai¹, B. Tezkan¹, P. Yogeshwar¹, W. Mörbe¹, M. Cherevatova², M. Becken², A. Steuer³

¹Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie, Köln, ²WWU Münster, Institute of Geophysics, Münster, ³Federal institute for Geosciences and Natural Resources, Hannover

A 1D joint inversion with various weighting schemes were developed in order to couple spatially dense sampled data from long-offset transient electromagnetic (LOTEM), helicopter electromagnetic (HEM) and semi-airborne frequency-domain electromagnetic measurements. The novel semi-airborne frequency-domain

electromagnetic system were developed and tested successfully within the BMBF/DESMEX project. It takes advantages of both ground and airborne techniques by combining ground base high power source with large dense spatial data. However, the method usually has reduced signal-noise ratio compared to ground based method. For example, compared to LOTEM, the semi-airborne technique has a smaller DOI due to the data quality and offset limitations. On the other hand, compared to HEM, semi-airborne indicates reduced resolution for shallow subsurface structures.

We analyzed the resolution characteristics of these 3 different EM methods, and developed a 1D joint inversion algorithm to combine the advantages of each method. The joint inversion could improve the inversion results significantly for selected cases. Moreover, several weighting schemes were investigated in order to enhance the resolution of the joint inversion results and overcome some drawbacks with respect to converge shown in non-weighted joint inversion.

EM-P.11

Archie's equation revisited – gas hydrate saturation estimates in the Danube Delta

K. Schwalenberg

BGR, Marine Rohstofferkundung, Hannover

Archie's equation (Archie, 1942) has become a standard tool to interpret and quantify electrical resistivity data derived from electrical and electromagnetic methods in terms of porosity and pore fluid constituents such as pore water salinities or hydrocarbons including oil, gas or gas hydrates. The generalized Archie equation relates porosity and pore fluid resistivity to the derived formation resistivity using coefficients known as a and m which are an empirical constant and the cementation factor, respectively. If a third phase is present, e.g. oil, gas or gas hydrate, the saturation and saturation factor n are considered.

Not being a 'law', but an empirical relation, Archie's equation is valid for coarse grained porous sediments, and strongly depends on the proper setting of the Archie coefficients a , m , and n , as well as on the porosity and pore fluid resistivity.

The use of Archie's equation and its limitations has been widely discussed. However, it is still the most commonly applied tool for reservoir characterization based on electrical properties in the DC and EM community. In the absence of borehole data and knowledge of the proper settings of Archie parameters, it has become custom to apply some sort of standard values, like $a=1$, and $m=n=2$. Nevertheless, it is clear that there are a number of combinations of Archie coefficients which will arrive at the same resistivity value.

Our motivation was to derive a better confined gas hydrate saturation estimate based on Archie's equation for resistivity models derived from marine CSEM data from the Danube Delta, Western Black Sea. Instead of using standard Archie coefficients we look at parameter combinations within given ranges which fit the inverted resistivities, and discuss some consequences on the saturation estimates. Which has been initially thought to be a major gas hydrate reservoir can now be essentially explained by fresh water constituents.

EM-P.12

Semi-Airborne Elektromagnetik mit einem Octocopter: Ein Funktionstest bei Donnern/Nds.

*J. B. Stoll¹, T. Kordes², R. Nöllenburg², M. Becken³, J. Wessel³, A. Weyer³, Y. Polkowski³,
P. Kotowski³, R. Bergers⁴, A. Busse⁴, B. Tezkan⁴, P. Yogeshwar⁴, U. Matzander⁵,
B. Friedrichs⁵*

¹Mobile Geophysical Technologies, Celle, ²aerialis GbR, Bremerhaven,
³Uni Münster, Münster, ⁴Uni Köln, Köln, ⁵Metronix GmbH, Braunschweig

Semi-Airborne Elektromagnetik (Semi AEM) ist ein geophysikalisches Verfahren, bei dem sich die Quelle zur Erzeugung elektromagnetischer Signale am Boden befindet und die Empfangsantenne auf einem Flugzeug oder Helikopter entlang von Profilen mitgeführt wird. Das Verfahren ist jedoch nicht ganz neu sondern wurde bereits vor Jahrzehnten für die Explorationsgeophysik entwickelt und ist als TURAIR oder FLAIRTEM bekannt.

In jüngster Zeit wurde das Semi AEM-Verfahren im DESMEX-Projekt weiterentwickelt, wobei bis zu 10km lange elektrische Bipole als Quelle verwendet wurden. Als Trägerplattform wurde ein Hubschrauber (Sikorsky) verwendet, der eine Sonde mit einem Induktionsspulentripel sowie hochpräzise Lagesensoren im Schlepptau mit sich führte. Das Gesamtsystem wiegt knapp 5t.

In einem Konsortium aus verschiedenen geophysikalischen Instituten und Firmen in Deutschland wurde nun ein Semi-AEM System entwickelt, das hinsichtlich seines Gewichtes derart reduziert wurde, daß es von einem ca. 13 kg schweren batteriegetriebenen Octocopter getragen werden kann. Das Gesamtsystem, bestehend aus Octocopter, Induktionsspulentripel, Datenaufzeichnungssystem, Navigationsinstrumenten und Lagesensoren wiegt weniger als 25 kg und kann bis 25min fliegen.

Es werden die Ergebnisse eines Funktionstests in der Nähe von Donnern bei Bremerhaven vorgestellt, bei dem erstmalig ein batteriegetriebener Octocopter eingesetzt wurde. Als Quelle wurde am Boden in NS-Richtung ein ca. 500m langer geerdeter elektrischer Bipol aufgebaut. Die Meßprofile waren etwa 1 km und erstreckten sich je 500m westlich und östlich des Senderkabels. Sowohl die Grundfrequenz des eingespeisten Signals von ca 10Hz als auch seine Harmonischen bis 10kHz konnten in der maximalen Entfernung von 500m noch ohne weiteres detektiert werden.

Damit steht ein Verfahren auf einem Octocopter zur Verfügung, das über einen weiten Frequenzbereich Aussagen über die elektrische Leitfähigkeit mit hoher Auflösung und einer großen Tiefenerstreckung treffen kann.

Extraterrestrische Physik // Vorträge

EP-1.01

Magnetfelder an Kometen – Aktueller Stand nach Rosetta

C. Götz

TU Braunschweig, Braunschweig

Wenn ein Komet sich der Sonne nähert, wird der Nukleus erwärmt und die Eise auf der Oberflächen sublimieren.

Da die Fluchtgeschwindigkeit an Kometen sehr klein ist, können die Gasmoleküle sich im Raum ausbreiten und werden durch ultraviolette Strahlung ionisiert. Diese Wolke aus Ionen bildet dann ein Hindernis für den Sonnenwind, der auf den Kometen zuströmt. Kometen selbst haben kein intrinsisches Magnetfeld, aber das vom Sonnenwind getragene interplanetare Magnetfeld wird durch die kometaren Ionen stark modifiziert.

Die europäische Weltraummission Rosetta konnte zum ersten Mal die Evolution dieser Interaktion studieren, da sie den Kometen 67P/Tschurjumow-Gerasimenko über zwei Jahren begleitete und mit Instrumenten zur Vermessung des Plasmas und des Magnetfeldes ausgestattet war.

Dabei konnte bestätigt werden, dass das Magnetfeld sich um den Nukleus drapiert, wenn die Ausgasungsrate ausreichend hoch wird. Da der Sonnenwind abgebremst wird und das Theorem des eingefrorenen Flusses für Elektronen gilt, resultiert dies in einer Zunahme der Magnetfeldstärke, die durch ein einfaches 1D Modell approximiert werden kann.

Bei sehr hohen Ausgasungsraten wird der Sonnenwindfluss schon vor Erreichen des Nukleus gestoppt, was bedeutet dass das Magnetfeld die innerste Region nicht erreichen kann und eine feldfreie diamagnetische Kavität entsteht. Die Größe dieser Region ist abhängig von der Ausgasungsrate und sehr variabel.

EP-1.02

Steepening of Magnetosonic Waves in the Inner Coma of 67P/Churyumov-Gerasimenko

K. Ostaszewski¹, B. Tsurutani², P. Heinisch¹, I. Richter¹, K.-H. Glassmeier¹

¹Technische Universität Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik, Braunschweig, ²Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, United States of America

We present a statistical survey of steepened magnetosonic waves at comet 67P/Churyumov-Gerasimenko over a two year period from the rendezvous point till end of mission. First observations of steepened waves in a cometary environment were obtained during flybys at comet 21P/Giacobini-Zinner and 26P/Grigg-Skjellerup. However, all previous observations were made during fast flybys and therefore provided only a limited amount of data for a constant cometary activity. As the first mission of its kind the ESA Rosetta spacecraft was able to study the plasma of the inner coma for a prolonged time and different stages of activity. This enables us to study the evolution of steepened waves and their characteristics over time. In total we identified 64 447 waves in the magnetic field data by means of machine learning. We observe that the occurrence of steepened waves is linked to the activity of the comet. During the high activity stages

the steepened waves dominate the cometary interaction region in the inner coma, whereas they can only be sporadically observed during low activity. Characteristics like amplitude, skewness and width of the waves were extracted by fitting a skew normal distribution to the magnetic field magnitude. With rising activity we observe that amplitude, skewness and width of the steepened waves increase. Moreover, the number of observations is linked to the cometocentric distance. During the dayside excursion, where Rosetta flew out to about 1500 km, the number of observed steepened waves drops noticeably. This indicates that the steepening of waves is a strongly localized process. No further dependency on the location of the spacecraft could be observed. A statistical survey is the foundation for the development of a model, which will further our understanding of the physics processes governing the inner cometary interaction region significantly. Steepened waves, in particular, are an important building block in the understanding of the inner coma, since they dominate the interaction region for intermediate to high activity.

EP-1.03

Monte-Carlo modeling of uncertainties in the detection of plumes on Europa with the Hubble Space Telescope

S. Schlegel¹, J. Saur¹, L. Roth²

¹Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie, Köln, ²KTH Royal Institute of Technology, Department of Space and Plasma Physics, Stockholm, Sweden

The search for liquid water within different planetary bodies in our solar system is an ongoing subject of many scientific works. In our work we revisit the detection of Europa's plume within Hubble Space Telescope observations by Roth et al. 2014 and provide a new assessment of the errors associated with the detection. For this purpose we consider the different error sources that occur while processing or are inherent to the instrument or the physics of the system. To achieve better insight on the statistical behavior of such observations, Monte Carlo tests for different emission models of Europa as seen from the Hubble Space Telescope were carried out. For this purpose models with plumes were compared to models without plume. Additionally by varying different parameters, contributions of different error sources could be separated and the significance of the properties of the plumes could be analyzed in detail. Therefore, atmospheric emissions, contribution of the surface reflectance as well as inaccuracies in target acquisition were investigated. It could be shown that the Lyman alpha surplus as derived in the study by Roth et al. is indeed inconsistent with a model without plume but requires a plume-like anomaly with a statistical significance of 5.4 sigma.

EP-1.04

Analysis of JUNO-observed Pitch Angle Spectra of Heavy Ions in Jupiter's Middle Magnetosphere

M. Schöffel¹, J. Saur¹, B. Mauk², G. Clark²

¹Universität zu Köln, Geophysik & Meteorologie, Köln, ²The Johns Hopkins University, Applied Physics Laboratory, Laurel, United States of America

Here we analyze He, S, O and H ions measured by the JEDI instrument in the energy range from (60 to 1350) keV, (486 to 10.000) keV, (370 to 10.000) keV and (30 to 2600) keV, respectively, at rotational equator crossing distances to Jupiter between 30–100 Jupiter radii. We study how the energy and pitch angle spectra of these ions change inside and outside the current sheet and look at their radial and latitudinal dependency. A prime objective is to investigate the energization mechanism of the heavy ions observed in the middle magnetosphere that heats up ions to much higher temperatures than expected for an adiabatic process. We also use the JUNO data to estimate the thickness of Jupiter's plasma sheet.

EP-2.01

Pluto und seine Wechselwirkung mit dem Sonnenwind nach dem New Horizons Flyby

M. Feyerabend, U. Motschmann

TU Braunschweig, Braunschweig

Ein Highlight der seit 2006 aktiven New Horizons Mission ins äußere Sonnensystem war der Vorbeiflug am Zwergplaneten Pluto im Sommer 2015, der zum ersten Male überhaupt in-situ Beobachtungen der Oberfläche und Atmosphäre Plutos ermöglichte. Neben einem kurzen Überblick auf die Mission und Beobachtungsdaten untersuchen wir, wie Pluto und seine durch Photoionisation und Ladungsaustausch erzeugte Ionosphäre mit dem Sonnenwindplasma wechselwirken. Wir verwenden dazu ein Hybrid-Modell (kinetische Teilchenbeschreibung und Elektronenfluid) der Plasmawechselwirkung Plutos unter Berücksichtigung der New Horizons Beobachtungen. Wir zeigen, dass Plutos Plasmawechselwirkung von den extremen Gyrationradien auf der Größenordnung von hunderten von Plutoradien dominiert wird und somit teilweise vergleichbar zu Kometen im Sonnenwind ist.

EP-2.02

How dependent are Mercury's field aligned currents on the sodium exosphere?

W. Exner¹, D. Heyner¹, L. Chai², U. Motschmann³

¹TU Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik, Braunschweig, ²Chinese Academy of Science, Institute for Geology and Geophysics, Peking, China, Volksrepublik, ³TU Braunschweig, Institut für Theoretische Physik, Braunschweig

Mercury's interaction with the solar wind is a result from its weak internal magnetic field of 190 nT at the equator.

The current systems that are well known within larger magnetospheres like Earth, are confined within a much smaller magnetosphere, as the Hermean subsolar magnetopause standoff distance is only a factor of 1/20 of the terrestrial value. Some of these large scale currents cannot fully develop and need different mechanisms and trajectories for their closures.

By introducing the weak sodium exo-ionosphere in our hybrid simulation models (ions as particles, massless fluid for electrons) we aim to understand these small scale currents, focusing on the closure of region-1 currents.

EP-2.03

Paleomagnetospheric Modelling of the Hermean Magnetosphere

D. Heyner

Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik, TU Braunschweig, Braunschweig

Mercury possesses a very weak internally generated global magnetic field. The surface field strength at the equator is about 190 nT which is ca. 160 times weaker than the terrestrial value. In-situ magnetic field measurements from the MESSENGER probe in the low-altitude campaign shortly before the end of mission indicate the possibility of a much stronger dipole moment in ancient times, allowing even a field of comparable surface field strength as the terrestrial value. This would imply a much stronger dynamo process in the past.

On the other hand, Mercury is also subject to an intense inflow of solar wind plasma due to its proximity to the Sun. The impinging solar wind flow is not steady having intrinsic natural variations as well as the variation due to the changing heliocentric distance along the Hermean orbit around the Sun. In a comparison of our Sun to similar stars, it is found that the solar wind dynamic pressure is also exponentially decaying over time.

The solar wind plasma flow exerts an inward pressure on the magnetopause, the outermost boundary of the magnetosphere. The internal magnetic field pressure by the planetary dipole acts against the inward push of the solar wind. Thus, pressure equilibrium defines the spatial scale of the magnetopause and thus the spatial magnetospheric extent. The electric currents in the magnetopause induce a magnetic field acting on the planet, driving e.g. induction currents in the interior and maybe even quench the internal dynamo process. In this paper it is demonstrated, how the magnetospheric spatial scale changes with a time-dependant internal dipole moment as well as a time-dependant solar wind pressure using a semi-empirical magnetospheric modeling approach. From this, the resultant magnetopause fields acting on the planet are computed and discussed.

EP-2.04

Time-variable Star-Planet Interaction in the TRAPPIST-1 system

C. Fischer, J. Saur

Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie, Köln

Star-planet interaction (SPI) describes the electromagnetic coupling of an exoplanet to its host star. Due to the bright intrinsic emissions of stars SPI is difficult to observe.

Accordingly there is no entirely convincing observational evidence for SPI so far.

Therefore we present different mechanisms that cause time-variability in SPI and allow to identify related signals as of planetary origin. We chose the TRAPPIST-1 system as an example to apply our findings and show that there are hints of SPI in existing observations of the system.

Geodynamik // Vorträge

GD-1.01

Investigating the characteristics of a potential West Antarctic mantle plume with geodynamic models

E. Bredow¹, J. Ebbing¹, F. Pappa¹, R. Gassmöller², J. Dannberg²

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel,

²University of California, Department of Earth and Planetary Sciences, Davis, United States of America

Located far away from the margins of either Large Low Shear Velocity Province, West Antarctica is no typical region to expect a hotspot fed by a deeply rooted mantle plume. Also, neither a large-scale flood basalt province nor a clearly age-progressive hotspot track have been identified - both common surface signatures of a plume. However, recent studies provided evidence that the ice cover in Marie Byrd Land conceals one of the largest volcanically active provinces in the world, as well as a distinctively elevated surface heat flux. In addition, volcanic rock samples show a geochemical signature similar to that of ocean island basalts, glacial isostatic adjustment models indicate low viscosities in the upper mantle and seismic tomography reveals distinct zones of slow seismic velocities extending at least down to the transition zone. Altogether, these findings have kept a debate on the existence of a plume alive over the past 30 years. Our study addresses this long-standing hypothesis using geodynamic models as a novel approach in this discussion. We have developed an instantaneous model setup with the mantle convection code ASPECT: as an initial state, we utilize a three-dimensional lithosphere scale model of the Antarctic continent that combines satellite gravity gradients and seismological data. Then we insert a thermal anomaly beneath the lithosphere, simulating ponding plume material. This setup enables the testing of various plume parameters and positions, in order to investigate if a plume can consistently explain the elevated heat flux and low upper mantle viscosities. Thus, our study aims at an evaluation of the likelihood as well as the characteristics of a West Antarctic mantle plume from a geodynamic point of view.

GD-1.02

Votemap cluster inversion – a novel approach to link deep deep earth seismology and the gravity field

W. Szwillus, J. Ebbing, A. Wansing

Christian-Albrechts-Universität, Geowissenschaften, Kiel

The velocity distribution inside the deep Earth can be illuminated using a wide range of seismological techniques. This has revealed a number of surprising structures, such as the Large Low Shear wave Velocity Provinces (LLSVPs), that have been linked to fundamental behaviour of Earth's large scale convection. Since these structures should possess anomalous density, they are expected to be represented in Earth's long wavelength gravity field.

However, it is unclear how to determine the density anomaly associated with deep mantle structures from seismology. Commonly it is assumed that velocity and density are correlated, due to their common dependence on temperature. However, in the deep mantle, the scaling of velocity to density is highly uncertain, due to incomplete knowledge of mineralogy and rock properties at high pressures. In addition, compositional variations become more important in the deep Earth, because thermal expansivity is reduced at high pressure. If velocity anomalies are caused by compositional variations, there might be no or even a negative correlation of density and velocity. These theoretical problems are further compounded by methodological differences between different seismological methods, which lead to disagreements in terms of velocity anomaly magnitude and spatial structure.

As an alternative to converting velocity to density, we propose to use the recently developed idea of votemaps. Votemaps codense information from several seismic models, by counting at each position how many of the seismic models show a significant velocity anomaly (relative to the velocity scale of each model). In this way, probable locations of anomalous features are defined. We use a linear inversion to determine the density of each feature, by fitting the measured gravity field. Since it is unclear how much deep Earth signals are hidden by shallow density anomalies in the lithosphere, we will use both the isostatic gravity anomaly and a gravity anomaly determined by stripping the gravity effect of the seismological model Crust1.0.

GD-1.04

The capabilities of the pseudo-spectral solution to the sea level equation for modeling lateral variations in the structure of a viscoelastic Earth

R. Hartmann¹, J. Ebbing¹, C. P. Conrad²

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel,

²University of Oslo, Centre for Earth Evolution and Dynamics, Oslo, Norway

The spectral form of the sea level equation (SLE) has been widely used to predict sea level change (SLC) and glacial isostatic adjustment (GIA). Advanced formulations additionally account for the feedback of a rotating Earth, grounding line, and shore line migration, all of which increase to some degree the accuracy of the predictions. However, spectral solutions to the SLE still require the approximation of an average

radially-symmetric viscoelastic Earth, which means that current models ignore lateral variations in the Earth structure.

Generally, West Antarctica is assumed to have a much thinner lithosphere and a more viscous upper mantle than East Antarctica. We test the capabilities of a “multiple 1D Earth approach” (MIDEA) for modeling of the different ice components of East Antarctica, West Antarctica, and outside Antarctica using a specific Earth structure in each region. To do this, we analyze the sensitivity of local uplift rates as well as the global feature of rotational feedback (RFB) for a range of Earth structures and surface loads at various distances.

Our results show that variations in elastic thickness primarily only affect local uplift rates. Variations in upper mantle viscosities have a bigger influence on uplift rates in the local and the near-field of areas of deglaciation. These regional variations in viscosity are associated with different timescale for which uplift rates are sensitive to deglaciation. Thus, computing the GIA response to deglaciation in each region independently results in a significantly smaller influence on uplift rates in the near-field. A significant impact on the rates of the far-field of the deglaciation is only observed if the RFB induced by deglaciation changes due to variations in the Earth structure. Furthermore, we found that the Antarctic ice sheets are located too far to the south to induce significant RFB on a postglacial time scale.

Overall, our results imply a good performance of MIDEA to account for lateral variations of Earth structure in predictions of global GIA models. We demonstrate this by testing three cases with contrasting Earth structures between East and West Antarctica. These test cases include large-scale loading components with sharp variations in 1D Earth structure. The application of the MIDEA using small-scale components of ice loading in combination with a more continuous varying Earth structure promises even higher accuracy in global GIA modelling.

GD-2.01

An integrated 3D model of the South American upper mantle

N.-P. Finger¹, M. K. Kaban¹, M. Tesauero², C. Haeger¹

¹Deutsches GeoForschungsZentrum, Potsdam, ²Universität Triest, Triest, Italy

The Amazon Craton and later South American continent was influenced by large-scale geodynamic and tectonic processes over geologic times. Since seismic methods are more sensitive to temperature than compositional variations and gravity data allows to decipher density perturbations, integrated geophysical modelling is the key to understand the complex interaction of these processes. We present an integrated 3D model of density, temperature and compositional variations for the South American upper mantle. First, crustal effects had to be removed from the observed fields to receive residual topography and mantle gravity. A new crustal model based on available seismic and geologic data was used to calculate the crustal fields. The model also contains a newly compiled density model of the sedimentary cover providing distinct density depth relations for the sedimentary basins of the South American continent. In addition, the effect of deep mantle density variations was removed from the residual gravity field and topography based on global dynamic models. In an iterative approach, temperature variations in the upper mantle were calculated based on seismic velocity variations from seismic tomography and mineral physics equations. Initially, a uniform

juvenile composition of the upper mantle was assumed. After the gravity and residual topography data were corrected for effects related to calculated temperature variations, the residual fields were inverted for composition related density perturbations. Based on these perturbations, the initial composition was altered towards a composition depleted in Fe and used as new input for the model. This iterative approach was repeated until convergence was reached. The resulting models provide an unprecedented image of the structure of the South American upper mantle. Contrary to expectations, the Amazon Craton shows a relatively low level of depletion (#Mg less than 90.5). Highest grades of depletion were found in the Sao Francisco Craton area (#Mg up to 91.5) but are as well below expectations, pointing to strong tectonic reworking of the cratonic roots over time.

GD-2.02

Erosion of a chemically stratified layer at the top of the Earth's core

M. Bouffard¹, M. Landeau², A. Goument³

¹Max Planck Institute for Solar System Research, Göttingen,

²Institut de Physique du Globe, Paris, France,

³Université de Nantes, Nantes, France

Some studies based on seismic and geomagnetic observations suggest the presence of a stratified layer at the top of the Earth's core. This has important consequences for the dynamics and evolution of the core. However, the origin of this layer remains unknown. Previous models proposed that the layer built up over geological time by accumulation of light elements emanating from the inner-core boundary, barodiffusion or chemical interactions with the mantle. Alternatively, the layer could be primordial. A recent study based on laboratory experiments showed that each giant impact of Earth formation produced a chemically stratified layer by incomplete mixing between the terrestrial core and that of the impactor. However, it is unclear whether such a primordial layer can be preserved up to the present-day or whether it will be eroded by turbulent convection in the core.

To answer this question, we study the erosion of a chemically stratified layer by thermal convection in a rotating sphere representing the Earth's core. Previous studies of rotating convection underneath a stratified layer do not consider the spherical geometry of the Earth's core or the weak diffusivity of chemical elements. To account for these effects, we use a new version of the code PARODY including a particle-in-cell method that properly solves the evolution of both the temperature and the compositional field. We characterize the different flow regimes and derive scaling laws for the erosion rate of the stratified layer. We discuss the implications for the Earth's core.

GD-P.01

Evolution of plate tectonics after the magma ocean period: Influence of a compositionally enriched basal layer

P. Hellenkamp, C. Stein, U. Hansen

Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster

Early periods of Earth's history are still of great interest for the evolution of plate tectonics. For instance, neither the formation of lithospheric plates nor the nature of Archean plate tectonics is well known. As a remnant of the magma ocean period, a compositionally dense layer at the core-mantle boundary is assumed to interact with the convective flow of the Earth's mantle forming today's LLSVPs. Since plate motions are strongly coupled to the convection of mantle material, stabilizing effects of compositionally dense material have a profound impact on plate tectonics and will be of major importance for its evolution.

To investigate the influence of a dense basal layer on the onset and evolution of plate tectonics, we use a numerical approach employing thermo-chemical mantle convection models. Considering different possible scenarios of the post magma ocean period we analyze the influence of different parameters, i.e. the density contrast between the dense basal material and the ambient mantle, the volume of the enriched layer and the initial mantle temperature.

Generally we observe that a stagnant lid forms which initially is mobilized episodically before turning to a permanently mobile surface. However, the episodic stage of the temporal evolution can be considerably altered due to the presence of dense material at the bottom of the mantle: a higher density or volume may lead to a substantial delay of mobilization episodes. Mainly depending on the initiation mechanism, mobilization episodes are delayed if surface movements are induced bottom-up, i.e. by ascending mantle plumes. Contrary, if plate breakup is induced in a top down manner, thus primarily triggered by subduction events, plate motions are largely unaffected by dense material at the bottom of the system.

Besides, plate movements may also develop confined to small regions, while the rest of the surface lid largely remains stagnant. In addition to surface mobilization events first occurring episodically this yields the assumption that the style of plate tectonics in the Archean fundamentally differs from the one observed on modern Earth.

GD-P.02

Cratonic cores of Western Gondwana illuminated by forward and inverse GOCE gradient modelling

P. Haas, J. Ebbing, W. Szwillus

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

The satellite mission GOCE delivered gravity gradient data with a global homogeneous coverage. In previous studies, it has been shown that satellite gravity gradients are more sensitive to crustal structures than the conventional vertical gravity field. This allows crustal (and lithospheric) modelling in remote areas, which are sparsely covered by

active seismology. The cratonic cores of South America (Amazonia and Sao Francisco) and West Africa, which have a common tectonic history prior to Gondwana breakup, are such areas with sparse terrestrial data coverage. The crust-mantle boundary is of main interest as it holds the main density contrast in the lithosphere, expressed by a jump in density due to the transition from crust to mantle rocks. Thus, the Moho depth should be resolvable using satellite gravity data.

We developed an inverse scheme, where gravity gradient components are inverted for the Moho depth. The inverse problem is solved with the classical Gauss-Newton algorithm. The Moho depth undulations are discretized into tesseroids. With this configuration, the gravity gradient effect of a Moho model can be calculated while accounting for the spherical shape of the earth.

First, the inversion is focused on the region of the cratons of South America and West Africa. Our Moho model is a compromise between the gravity-inverted Moho depth and the existing seismic data in the study area. The depths are correlated with tectonic provinces and show for example that the Sao Francisco Craton has a significant larger crustal thickness than Amazonia.

Thereafter, we rotate the gradients back to 150 Ma and simulate the inversion in a Gondwana framework. With this configuration we aim to resolve a 'Paleo-Moho' that enhances characteristics connected in a Gondwana framework directly. The forward calculated satellite residual mantle gravity anomalies, gravity gradients, gradient-derived curvature products and the inverted Moho depths are implemented in the plate reconstruction software GPlates. By rotating the input fields back in time, we are able to study the link between the different cratonic units within Gondwana assembly and prior stages. Moreover, we compare the 'Paleo-Moho' with the rotated Moho depths of the regional study areas.

GD-P.03

Variable detachment strength along the Hikurangi margin offshore New Zealand: insights from critical taper analysis

C. O. Schwarze, N. Kukowski

Institute of Geosciences, Friedrich Schiller University Jena, Jena

GPS data provide evidence for variable plate coupling along the Hikurangi margin offshore New Zealand. However, very little is known about the relationship between effective strength of the Pacific Australian Plate interface and the morphology of the submarine accretionary wedge. A critical taper analysis of the entire accretionary wedge from the transition to strike-slip faulting in the south to subduction erosion in the north reveals significant variation of the strength parameter F along the detachment. The basal detachment is very weak $F < 0.2$ in the southern portion of the Hikurangi Margin where low permeability and resulting fluid overpressuring is inferred. Further, there is evidence for a compressive wedge with pop-up structures. Here, detachment strength increases towards the deformation front. In contrast, along the north Hikurangi margin where subduction erosion occurs, F values exceed 0.5. There is evidence for an extensional wedge with big slides and avalanches. The area with repeated slow slip events is characterized by moderate F values. The results of our critical taper analysis are in good agreement with the regional variation of the coupling coefficient.

GD-P.04

Adaptive Mesh Refinement

M. Krage, T. Wiesehöfer, U. Hansen

WWU Münster, Institut für Geophysik, Münster

Mesh refinement is a long-known technique to reduce the computation time of numerical simulations. In double-diffusive convection, where layers are formed dynamically, boundary layers exist not only at the edges, so that refining the regions at the edges only is not adequate. In order to resolve these boundary layers and still reduce the computational effort, another method of refinement must be used.

In this case an adaptive mesh refinement, where the refined areas can change throughout time and are not restricted to the edges, is the method of choice to obtain satisfying results. In this study, a finite volume code using a multigrid scheme is the basis of an implemented adaptive mesh algorithm which considers differences in temperature, chemical composition or velocity to adapt the refinement. In this way, the computational time can be reduced while the results such as flow pattern and Nusselt number development stay very similar to those obtained with an equidistant fine mesh.

GD-P.05

On the evolution of metal delivered by giant impacts in a convecting and rotating magma ocean

C. Maas¹, L. Manske², U. Hansen¹, K. Wünnemann²

¹Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster,

²Museum für Naturkunde, Leibniz Institut für Evolutions- und Biodiversität, Berlin

Giant impacts on Earth crucially influenced core formation and the subsequent evolution of the Earth's mantle and may have contributed to late accretion of material. However, to what extent the present day geochemical signature of the Earth's mantle reflects the processes of core formation and late accretion and how much of the material delivered by giant impacts was incorporated into the core remains unclear. To better understand these processes it is of key importance to comprehend how the material was dispersed upon impact, and how the metal settles in a convecting magma ocean. While metal particles that sink quickly leave little time for chemical equilibration, those that sink sufficiently slow could allow time for equilibration between metal and silicates, potentially influencing the chemical signature we see in Earth's mantle today. The settling of impact-delivered material is potentially strongly influenced by its size-frequency distribution and the convective state of the magma ocean. Thus, understanding how the convecting melt of the magma ocean interacts with the sinking impactor material is crucial for understanding the process of core formation.

Therefore, by means of numerical convection experiments in spherical geometry combined with impact modelling, we investigate how the convective state of the magma ocean and also the potentially strong planetary rotation affect the settling of impact-delivered material in a global magma ocean. Previous work on the influence of planetary rotation suggests distinct differences in particle settling depending on the latitude of the impact.

GE-1.01

Anwendung von Geoelektrik in verschiedenen Flachwassersituationen

A. Fediuk¹, E. Erkul¹, M. Thorwart¹, T. Wunderlich¹, D. Wilken¹, M. Gräber², W. Rabbel¹

¹Universität Kiel, Kiel, ²GeoServe Angewandte Geophysik, Kiel

Marine Geoelektrik Messungen werden seit einigen Jahrzehnten für verschiedenste Fragestellungen eingesetzt. Durch die gute Ankopplung der Elektroden ans Wasser stehen zahlreiche Durchführungsmöglichkeiten wie ortsfeste bzw. gezogene, schwimmende bzw. abgesenkte Elektrodenkonfigurationen zur Verfügung. Eine Herausforderung ist die leitfähige Wasserschicht. Dies resultiert in einer geringeren Tiefeneindringung und der Gegebenheit, dass wesentlich längere Elektrodenauslagen benötigt werden, um zwischen hohen Widerständen im Untergrund unterscheiden zu können als bei Landmessungen. Unsere Studie knüpft an vorangegangene Arbeiten an, bei denen insbesondere für archäologische Fragestellungen Modelle für verschiedene Situationen synthetisch erstellt und 2D invertiert wurden. Ebenso wurden verschiedene Messkonfigurationen getestet und Inversionen mit und ohne a priori Informationen bezüglich Wassertiefe und –leitfähigkeit verglichen.

Wir zeigen eine Studie, bei der wir ortsfeste schwimmende und abgesenkte sowie kontinuierliche Messungen für verschiedene Targets vergleichen. Ziel ist es, anhand der Umgebungsparameter, der Fragestellung und der physikalischen Gegebenheiten der Methode wie Tiefeneindringung, Auflösung usw. die am besten geeignete Messanordnung auszuwählen. Grundlage sind Wiederholungsmessungen, bei denen in einem Testgebiet bei Eckernförde alle drei Messanordnungen für ein geologisches Target getestet wurden. Es wurde eine inverse Schlumbergerkonfiguration mit einer Elektrodenauslage bis 20 m genutzt. Neben der Reproduzierbarkeit von Messwerten und technischer Durchführung wurde der Fokus auf die Reproduzierbarkeit der Inversionsergebnisse gelegt. Hierzu wurden die einzelnen Wiederholungsprofile invertiert und verglichen. Die Ergebnisse konnten durch weitere Tests wie DOI- und Checkerboardtests ergänzt und verifiziert werden. Bei allen drei Methoden konnten die Wassersäule, der Übergang zum Meeresboden und der grundsätzliche Verlauf im Untergrund gut reproduziert werden.

GE-1.02

Considerations Regarding Small-scale ERT

J. Ochs, N. Klitzsch

RWTH Aachen University, Aachen

This synthetic study focuses on small-scale Electrical Resistivity Tomography (ERT) used for imaging the very near surface region, e.g. the first two meters of the subsurface, with high resolution. Corresponding arrays employ an electrode spacing of few centi- or decimeters, i.e., the electrode spacing is in the same length range as the active electrode length – the part of the electrode in contact with the ground. For simulating such ERT data, electrodes cannot be approximated as point electrodes but have to be considered with their real geometry, i.e., 3D modelling is required. By the latter, we confirm a change of the geometric factor but observe also a change of the sensitivity and coverage

distributions compared to point electrode configurations. Sensitivity and coverage are high in between the electrodes but drop rapidly below them. This reduces both the depth of investigation of the array and the resolution in the region below the electrodes. The effect increases with increasing active electrode length to spacing ratios.

One way to compensate for the sensitivity reduction with depth is to add borehole electrodes. We study a borehole-to-surface (b2s) electrode array with the borehole electrodes in the middle of the array. As for the surface electrodes, we observe strongly increased sensitivities close to the borehole electrodes. Thus, we obtain a T-shaped region with high coverage and thus good model recovery. For our synthetic models, the b2s array outperforms the pure surface array and a pure borehole measurement in terms of model recovery. Hence, small-scale b2s ERT can improve the limited imaging capabilities of small-scale surface ERT. However, b2s is best suited for a layered subsurface as the region with good model recovery is limited to a region close to the electrodes.

Additionally, we developed a borehole tool with 20 ring electrodes and applied it at a backfilled trench using a b2s array. The inverted resistivity distribution reproduces the artificial subsurface structure, a 20 cm thick sand layer in a “homogeneous soil”, and thus confirms our synthetic results.

GE-1.03

Geoelektrisches Langzeitmonitoring mit vertikalen Elektrodenstrecken im Salz-/Süß-wasser-Übergangsbereich

M. Grinat, M. Ronczka, H. Wiederhold, D. Epping, V. Kipke, R. Meyer

Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Hannover

Für die Untersuchung von Prozessen im Übergangsbereich zwischen salz- und süßwasserführenden Sedimenten nutzt das LIAG seit mehreren Jahren vertikale Elektrodenstrecken. Im September 2009 sind auf der Nordseeinsel Borkum im Rahmen des damaligen CLIWAT-Projektes zusammen mit den Stadtwerken Borkum zwei etwa 20 m lange Elektrodenstrecken in den beiden Wassergewinnungsgebieten Waterdelle und Ostland in Tiefen zwischen 44 m und 65 m unter Gelände fest eingebaut worden. Auf diesen im LIAG gebauten Elektrodenstrecken werden bis heute automatisch ablaufende geoelektrische Multielektrodenmessungen in einem zeitlichen Abstand von fünf Stunden durchgeführt. Als Messsystem dient das 4point light 10 W (LGM Lippmann). Die Messdaten werden regelmäßig über eine Datenfernübertragung nach Hannover gesendet. Dieses SAMOS genannte System dient somit auch als Frühwarnsystem für aufsteigende Salzwässer.

Das Monitoring mit vertikalen Elektrodenstrecken hat in den aktuellen Projekten TOPSOIL (northsearegion.eu/topsoil/) und go-CAM (bmbf-grow.de/de/verbundprojekte/go-cam) ebenfalls hohe Bedeutung. So ist eine zusammen mit der Firma Solexperts (Schweiz) entwickelte Elektrodenstrecke im Dezember 2018 im Rahmen des Projekts go-CAM in Zusammenarbeit mit dem Oldenburgisch-Ostfriesischen Wasserverband (OOWV) in eine Bohrung bei Abickhafe (nahe Jever) zwischen etwa 55 m und 35 m Tiefe fest eingebaut worden. Da eine nebenstehende Bohrung eine zunehmende Chloridbelastung im Grundwasser in Tiefen um 55 m anzeigt, dient auch diese Strecke der Erkundung des Übergangsbereichs zwischen salz- und süßwasserführenden Sanden. Die spezifischen Widerstände sinken in den beiden Messgebieten auf Borkum bei dem

kleinsten Elektrodenabstand von 0,25 m von Werten um 80-90 Ω m in Tiefen um 45 m auf 1-2 Ω m in 65 m Tiefe und bilden damit den Salz-/Süßwasser-Übergang ab. Tiefenlage und Verlauf dieses Übergangs sind zeitlich sehr stabil. Saisonale Änderungen sind besonders groß im Ostland im Bereich einer durch tonige Einschaltungen begrenzten Sandschicht um 55 m Tiefe. Im Rahmen einer 2015 abgeschlossenen Masterarbeit an der Universität Göttingen wurden diese mit Hilfe von Simulationsrechnungen an einem vereinfachten Dichteströmungsmodell mit den Grundwasserspiegelschwankungen und den Pumpraten benachbarter Trinkwasserbrunnen in Verbindung gebracht (Ibenthal, M.: A 2-D density dependent groundwater flow model to explain vertical distribution of electrical conductivity and hydraulic heads of Borkum Island).

GE-1.04

Evaluation of spectral induced polarization field measurements in time- and frequency-domain

T. Martin¹, A. Flores Orozco², T. Günther³, T. Dahlin¹

¹Lund University, Engineering Geology, Lund, Sweden, ²Technische Universität Wien, Department of Geodesy and Geoinformation, Wien, Österreich, ³LIAG, Hannover

The frequency-dependence of the induced polarization effect (IP), the so-called spectral IP (SIP), has been demonstrated to be strongly correlated to important parameters in hydrogeological and environmental investigations. This has prompted the development of measuring and modelling techniques for an enhancement in data quality for laboratory and field investigations at a broader frequency bandwidth. Although SIP datasets have been traditionally collected in the frequency-domain (FDIP), recent developments have demonstrated the capabilities to solve for the frequency-dependence of the complex conductivity through the inversion of measurements collected in the time-domain (TDIP).

In recent years, a few studies have addressed the comparison of both TDIP and FDIP methods; however, mostly related to the imaging results and not the actual signal-strength. Moreover, previous investigations have not addressed sources of error associated to TDIP and FDIP instruments. For FDIP we deployed measurements with the Radic Research SIP 256C and MPT DAS-1; whereas ABEM Terrameter LS 2 and IRIS Syscal Switch Pro were used for TDIP. Hence, our investigation aims at comparing the IP response at a broad frequency bandwidth resolved through FDIP and TDIP measurements. Furthermore, a detailed discussion on the different sources of uncertainties effecting the IP data readings collected with different instruments. To provide a fair comparison, all measurements were performed using the same settings. We present our results regarding the analysis of data errors. The analyses of signal strength are evaluated through comparison of data collected at different electrode separation.

We observed that data collected through different instruments provide similar information, with comparable readings. Furthermore, resistivity revealed the same response and are comparable for different depth of investigations. The IP signals are also comparable but differs in data quality for higher frequencies/early times due to field setup and instrument techniques. Yet, each instrument revealed advantages and disadvantages regarding the field robustness, easiness for deployment and frequency-content.

GE-2.01

Langzeitmonitoring von Verkarstungsprozessen mittels SIP

F. Mai¹, R. Kirsch², C. Rücker¹, F. Börner¹

¹TU Berlin, Angewandte Geophysik, Berlin,

²GEOimpulse Geophysik Geothermie, Kiel

Erdfälle werden in unterschiedlichen geologischen Formationen vorrangig durch Verkarstungs- und Subrosionsprozesse gebildet. Ihre in der Regel abrupte Entstehung stellt ein erhebliches Georisiko vor allem in dicht besiedelten Gebieten dar, da enorme Schäden an Menschen und Sachgütern entstehen können. Häufig sind Verkarstungserscheinungen mit Anomalien im Grundwasserströmungsfeld und Heterogenitäten in den löslichen Sedimenten verbunden.

Um auf lange Sicht ein Früherkennungssystem für das Auftreten von Erdfällen zu entwickeln und somit das Schadensrisiko durch Erdfälle zu reduzieren, ist ein besseres Verständnis der Genese von Erdfällen essenziell. Mit dem Ziel der Entwicklung von Sensoren und Multiskalen-Überwachungsmethoden erforscht der Projektverbund „SIMULTAN“ Erdfälle und deren Begleiterscheinungen.

Ein Teilprojekt von SIMULTAN beschäftigt sich mit den Lösungsvorgängen von Gips- und Kalkgesteinen einschließlich Folgeprozessen und deren Auswirkungen auf petrophysikalische Eigenschaften sowie der Korrelation mit hydraulischen Erscheinungen. Vorrangig wird dabei die komplexe frequenzabhängige elektrische Leitfähigkeit von Gesteinen in Verkarstungsgebieten betrachtet. Es werden Labormessungen sowie Feldmessungen in dem bekannten Erdfallgebiet Münsterdorf (Schleswig-Holstein) durchgeführt. Weitere Untersuchungen im Technikums-Maßstab mit einer Säulenversuchsanlage verfolgen das Ziel, Verkarstungserscheinungen mit kontrollierten Randbedingungen zu simulieren. In die Säule wurden vollständig gesättigte lösliche und nicht lösliche Materialien eingebaut, welche auf unterschiedliche Weise durchströmt werden können. Während der unterschiedlichen hydraulischen Zustände wurden komplexe Leitfähigkeitsmessungen als Monitoring durchgeführt.

In Münsterdorf wurde ein stationäres Elektrodensystem für Monitoring-Messungen in zwei Bohrlöchern in einem Abstand von 5 Metern installiert. Die bisherigen Ergebnisse deuten darauf hin, dass Lösungsprozesse im Kontaktbereich zu der im Untergrund befindlichen Kreide ablaufen und detektiert werden können.

GE-2.02

Temperaturabhängigkeit und thermische Hysterese der SIP Eigenschaften von Festgesteinen während kontrollierter Einfrier-Auftau-Zyklen

J. K. Limbrock, A. Kemna, M. Weigand

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Institut für Geowissenschaften und Meteorologie, Bereich Geophysik, Bonn

Geoelektrische Methoden werden zur nichtinvasiven Charakterisierung und zum Monitoring von Permafroststandorten genutzt, da sich mit dem Phasenwechsel von flüssigem Wasser zu gefrorenem Eis die elektrischen Eigenschaften des Untergrunds ändern. Hierbei wird zunehmend die elektrische Widerstandstomographie angewendet und der bestimmte spezifische elektrische Widerstand als Proxy für Temperatur oder Eisgehalt genutzt. Diese Methode leidet jedoch unter starken Doppeldeutigkeiten, insbesondere kann kaum zwischen Luft und dem ebenfalls gering leitfähigen Eis im Porenraum des Gesteins unterschieden werden. Verbesserungen bei der Interpretation verspricht die gleichzeitige Messung der spektralen induzierten Polarisation (SIP) aufgrund der charakteristischen Polarisationssignatur von Eis. Für eine entsprechende Anwendung ist es notwendig, die SIP Eigenschaften in Abhängigkeit von der Temperatur für gefrorene bzw. teilgefrorene Zustände zu verstehen.

In der hier vorgestellten Studie wurde an wassergesättigten Festgesteinsproben von alpinen Permafroststandorten die elektrische Impedanz im Frequenzbereich von 10 mHz bis 45 kHz während kontrollierter Einfrier-Auftau-Zyklen (+20°C bis -40°C) gemessen. Der Widerstand zeigt eine starke Temperaturabhängigkeit und Hysterese, d.h. eine Abhängigkeit von der Richtung der Temperaturänderung. Während des Einfrierens ist ein Sprung in der Temperaturabhängigkeit zu beobachten, der auf einen abrupten Übergang von flüssigem Wasser zu Eis bei einer kritischen Temperatur < 0°C hindeutet. Während des Auftauens hingegen nimmt der gemessene Widerstand gleichmäßig ab, was auf ein kontinuierliches Auftauen der Probe schließen lässt. Für die Phase der Impedanz ist das bekannte, temperaturabhängige Relaxationsverhalten von Eis im Bereich von 1 kHz bis 45 kHz zu erkennen.

Bei niedrigeren Frequenzen (1 Hz–1 kHz) kann im ungefrorenen Zustand eine Polarisation mit geringer Frequenzabhängigkeit beobachtet werden. Diese wird als Membranpolarisation interpretiert, insbesondere da sie während des Einfrierens teilweise verschwindet.

Die beobachtete Abhängigkeit der SIP Signaturen von der Temperatur bzw. dem Eisgehalt bestätigt die prinzipielle Möglichkeit der Eisgehaltbestimmung aus SIP Messungen. Dazu müssen die Einflussfaktoren nicht nur in Form von quantitativen Modellen verstanden werden, sondern auch unabhängige Informationen zur Kalibrierung entsprechender Modelle vorliegen, weshalb die Anwendung im Gelände noch eine Herausforderung darstellt.

GE-2.03

Numerical modeling of Membrane Polarization for a Network of Connected Pores

N. Rezaii¹, A. Hördt²

¹Technical University of Braunschweig, Institute for Geophysics and Extraterrestrial Physics, Braunschweig, ²Braunschweig University of Technology, Institute for Geophysics and Extraterrestrial Physics, Braunschweig

Spectral Induced Polarization (SIP) is a geoelectrical method in which the complex, frequency-dependent impedance of the subsurface materials is measured. A specific type of polarization called membrane polarization occurs when the pore space narrows to within several boundary layer thicknesses, where upon application of an electrical potential, an ion-selective membrane is created causing surplus and deficiency of both cations and anions at each ends of the pore throat. Upon removal of the electrical potential, discharging is measured in time or frequency domain. In comparison to DC-Resistivity method, SIP supplies additional hydraulic parameters of the material. Therefore, the study of this effect is of great importance.

The existing analytical models are limited to simplified pore shapes such as two connected cylinders with different radii in order to model the membrane polarization effect. Even more complex network models are still tied to two-cylinder concept. Therefore, it is of great interest to numerically extend the existing models into a network of pores containing several cylinders with different radii or even more complex and realistic pore shapes. Moreover, unlike other analytical models, which only take the impedances of the cylindrical pore combinations into account, the numerical model also includes the effect of the real lengths and diameters of the pores.

Furthermore, validating the numerical model is another interesting point, which can be done by comparing its results with laboratory measurements. To this end, macroscopic geometrical parameters i.e. the porosity and the specific internal surface area of a selected rock sample are calculated using μ -CT data, and have been matched with those of the numerical model. The governing ion transport equations are coupled and solved using the equation-based modeling feature of COMSOL Multiphysics. Consequently the spectral behavior of the numerical model is compared with those of laboratory measurements and analytical solutions.

GE-P.01

Petrophysical Characterization of Highly Polarizable Rocks From the Moffat Shale Group (Ireland)

M. Sonntag¹, L. Römhild¹, D. Kiyan², V. Rath², J. Börner¹

¹TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik/Geoinformatik, Freiberg,

²Dublin Institute for Advanced Studies, Dublin, Irland

The geological situation in the north of Ireland, especially concerning the origin of the Moffat Shale Group, has long been under discussion. The Tellus Project, which has been carried out by the Geological Survey Ireland (GSI), is supposed to bring new insights into the regional geology by means of geophysical and geochemical surveying. Airborne electromagnetic measurements revealed high-conductivity anomalies that had have been interpreted as the response of a black shale.

In order to petrophysically characterize the Moffat Shale Group and understand their impact on the regional conductivity anomalies, a laboratory study using core material from two boreholes was carried out. The investigations included the determination of density and porosity as well as laboratory measurements of the Spectral Induced Polarization (SIP) in the frequency range from 10^{-4} to 10^4 Hz.

The results opened up the possibility of assigning the sample material to two different groups. A mudstone-like rock type showed weak frequency-dependent, but porosity-driven conductivities with a strong anisotropy, which could be explained by the deformation of the pore channels by compaction. On the other hand, samples taken from the black shale were characterized by strong polarization effects producing high phase angles of the complex conductivity, especially at low frequencies, and a strong conductivity increase towards higher frequencies.

The high polarizabilities were considered to be the influence of carbonaceous material as well as pyrite, which were both abundant in the black shale. Therefore, a two-component Cole-Cole model was used to explain the data and the derived Cole-Cole parameters could be used for further interpretation. The results of complementary SIP measurements on crushed material lead to the assumption that the polarization effects are mainly controlled by the texture of the polarizable components and not only by their volume fraction. A geochemical analysis of selected samples supported those findings.

GE-P.02

„In-situ-Verfahren zur nichtinvasiven Ermittlung des Porenanteils n in setzungsfleißgefährdeten Kippen – IDENT-PORE“

J. Wondrak¹, T. Schicht¹, C. Rücker², D. Branka², F. Börner², C. Bergmann³, A. Werner³, R. Katzenbach³, K. Reinhardt⁴, B. Sommer⁴

¹K-UTEC AG Salt Technologies, Sondershausen,

²Technische Universität Berlin, Fachgebiet für Angewandte Geophysik, Berlin,

³Ingenieursozietät Prof. Dr.-Ing. Katzenbach GmbH, Darmstadt,

⁴BIUG Beratende Ingenieure für Umweltgeotechnik und Grundbau GmbH, Freiberg

Im Zusammenhang mit der Stilllegung von Braunkohletagebauen kommt es insbesondere in Mitteldeutschland infolge des Grundwasseranstieges vermehrt zu großflächigen Standsicherheitsproblemen im Bereich der Abraumkippe. Im Rahmen der Sanierung der Bergbaufolgelandschaften werden die ausgekohlten Tagebaue geflutet, weshalb der Grundwasserspiegel im Umkreis stark ansteigt. Nach Einstellung der für den Bergbau notwendigen Grundwassererhaltung sättigen sich diese Bereiche zum Teil vollständig auf, woraufhin, abhängig von den weiteren Randbedingungen, es zur Bodenverflüssigung sowie Massenbewegung kommt. Um solche Bewegungen zu verhindern, sind ausreichende Verdichtungsmaßnahmen von Teilen der Kippen notwendig. Die dafür existierenden speziellen Verdichtungstechnologien finden im großen Umfang ihre Anwendung.

Bei diesen Verdichtungsmaßnahmen stellt sich letztendlich die Frage nach der Erfolgskontrolle, die sich konkret mit geotechnischen Parametern definieren lässt, welche aber nur punktuell und unter großen Aufwendungen gewinnen werden können. Eine durchgehende und raumerfassende Prüfung des Verdichtungserfolges der oft Kilometer-langen Verdichtungszonen ist bisher nur eingeschränkt möglich. Allerdings ist diese Methodik durch das notwendige schwere Gerät und den damit verbundenen starken Energieeintrag besonders bei der Vormessung geotechnisch gefährdet.

Durch die Bündelung der unterschiedlichen Kompetenzen der Forschungspartner wird im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprojektes eine innovative Technologie entwickelt und praktisch erprobt. Mit dieser Technologie wird auf Grundlage der Kartierung der gefährdeten Kippenflächen mit dem Verfahren der Spektralen Induzierten Polarisation (SIP) eine flächenhafte Identifikation des maßgeblichen geotechnischen Parameters möglich.

Gesamtziel ist die Entwicklung eines Verfahrens zur flächenhaften Quantifizierung des Porenanteils in setzungsfleißgefährdeten Kippen und deren Praxistauglichkeit. Die Messungen finden vor und nach einer Verdichtungsmaßnahme auf 2 Kippenflächen statt und werden mit der Tauchwellentomographie verglichen. Parallel dazu werden Proben aus diesen beiden Gebieten entnommen und in einer Laborversuchsanlage SIP-Messungen durchgeführt. Die Ergebnisse aus den Feld- und Labormessungen werden letztendlich mit den gewonnenen SIP-Ergebnissen des Porenanteils aus dem Großversuch verglichen, um eine flächenhafte Bestimmung der Verdichtungsentwicklung sowie eine Erfolgskontrolle ermöglichen zu können.

GE-P.03

Laboruntersuchungen von marinen Massivsulfiden mittels Spektraler Induzierter Polarisation

M. Lührs, A. Hördt

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

In der Tiefsee befinden sich im Bereich um sogenannte schwarze Raucher Lagerstätten mit verschiedensten Mineralen, die zunehmend interessanter als zukünftige Rohstoffquelle werden. Die Vorkommen liegen als Metalle (z.B. Cu, Fe, Zn) in Verbindung mit Schwefel vor. Da die Erze sich nicht zwingend in Form von Erzgängen in der Gesteinsmatrix befinden, sondern in diesem verteilt und untereinander unverbunden sein können, haben sie unter Umständen keinen Einfluss auf den elektrischen Widerstand, sodass sie nicht durch gleichstromelektrische Verfahren detektiert werden können. Im Gegensatz zur Gleichstromgeoelektrik wird bei der Induzierten Polarisation (IP) auch die Phasenverschiebung zwischen eingespeistem Wechselstrom und der Spannung gemessen. Da die verteilten Erze einen starken IP-Effekt hervorrufen, kann die IP zur Exploration genutzt werden.

Bei Expeditionen gewonnene Proben liegen häufig in der Form von Handstücken oder ungleichmäßigen Bohrkernstücken vor, sodass die vorhandene Messapparatur zur Vermessung von Zylinderproben nicht verwendet werden kann. Da die Proben selten sind, ist es zwar im Allgemeinen nicht möglich aus diesen Zylinderproben zu bohren, allerdings sind die Messungen daran ebenfalls von großer Bedeutung. Daher wird zunächst methodisch untersucht, wie die Proben störungsfrei vermessen werden können. Dazu werden die Proben in nassen Quarzsand eingebettet, der nicht selber polarisiert. Über bereits bestehende Theorien kann anschließend aus den Gesamtwerten auf die Probeneigenschaften geschlossen werden. Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse werden 40 Proben aus einem vorangegangenen Projekt und die Handstücke, aus denen die Proben stammen verwendet. Dabei handelt es sich sowohl um Basaltproben ohne Metallanteil als auch um Sulfide aus den Schloten schwarzer Raucher sowie um Marine Massiv Sulfide (SMS; engl. Seafloor Massive Sulfides) aus den Lagerstätten um die schwarzen Raucher.

GE-P.04

Monitoring der Salz-/Süßwassergrenze bei Jever zur Absicherung der Grundwasserqualität mit der vertikale Elektrodenstrecke SAMOS

M. Ronczka, M. Grinat, T. Günther, H. Wiederhold

LIAG Hannover, Hannover

Die Verschiebung der Salz-/Süßwassergrenze aufgrund von natürlichen oder antropogenen Einflüssen ist ein wichtiger Faktor für die Trinkwasserversorgung und das Grundwassermanagement im Allgemeinen. Aufgrund der Korrelation zwischen dem elektischen Widerstand und dem Salzgehalt des Grundwassers, bietet sich ein geoelektrisches Monitoring mit der vertikalen Elektrodenstrecke SAMOS zur Beobachtung der Salz-/Süßwasser Übergangszone an. Im Zuge des Projektes go-CAM wurde ein SAMOS System mit 81 Elektroden, die in einem Abstand von 25 cm

angeordnet sind so konzipiert, dass eine Übergangszone auf einer Länge von 20 m beobachtet werden kann. Für die Festlegung der Lokation in der Modellregion Sandelermöns (bei Jever) wurden HEM (Hubschrauber Elektromagnetik) Daten für die regionale Eingrenzung und anschließend 2D Geoelektrikmessungen für eine genauere Standortwahl benutzt. Neben dem geologischen Schichtenverzeichnis aus der Bohrung, sind zwei Chloridmonitoringmessstellen in 30 m und 55 m Tiefe als ergänzende Datensätze verfügbar. Während die Obere, für Süßwasser, normale Chloridgehalte < 20 mg/l zeigt, tritt ein deutlich erhöhter Gehalt von ca. 400-470 mg/l in der unteren Messstelle auf. In dem vorgestellten Gebiet befindet sich deshalb die Elektrodenstrecke in einem Tiefenbereich von 35-55 m um die Übergangszone beginnend bei der unteren Chloridmonitoring-Messstelle zu erfassen. Die Störung des Gleichgewichtes durch die Bohrung wird als gering angenommen, da ein Trockenbohrverfahren eingesetzt wurde. Erste Testmessungen im Dezember 2018 direkt nach dem Einbau zeigten jedoch deutliche Schwankungen des scheinbaren elektr. Widerstandes, die sich nach einer Woche weitgehend beruhigten. Eine Inversion erster Monitoringdaten wurde mit BERT (Boundless Electrical Resistivity Tomography) auf Grundlage von Python durchgeführt. Da die Messungen der SAMOS Strecke im Vollraum stattfinden wurde für die Inversion Zylindersymmetrie vorausgesetzt. Erste Ergebnisse bestätigen das bei der Bohrung erstellte geologische Schichtenverzeichnis. Um saisonale- und Langzeittrends ableiten zu können fehlt es jedoch noch an Aufzeichnungsdauer. Installation und Betrieb der SAMOS-Messstrecke erfolgen im Rahmen des durch das BMBF geförderten Projektes go-CAM und in enger Zusammenarbeit mit dem regionalen Wasserversorger.

GE-P.05

Large-scale geoelectrical survey in the Eger Rift (W-Bohemia) at proposed PIER-ICDP fluid monitoring drill sites to image fluid-related structures

T. Nickschick¹, T. Günther², C. Flechsig¹

¹Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie, Leipzig,

²Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Hannover

The Cheb basin, a region of active earthquake activity in the western Czech Republic, is characterized by intense carbon dioxide degassing along two known fault zones. The fluid pathways for the ascending CO₂ of mantle origin are subject of an ongoing International Continental Scientific Drilling Project (ICDP) in which several geophysical surveys are currently carried out to image the near-surface geologic situation, as existing boreholes are not sufficiently deep to characterize the structures. As electric resistivity is sensitive to both lithology and pore fluid mineralization, a large-scale dipole-dipole experiment using a special type of electric resistivity tomography (ERT) was carried out in June 2017 in order to image fluid-relevant structures. We used static remote-controlled data loggers in conjunction with high-power current sources for generating sufficiently strong signals that could be detected all along the 6.5km long profile with 100m and 150m dipole spacings. Extensive processing of 10 time series and apparent resistivity data lead to a full pseudosection and allowing interpretation depths of more than 1000m. The subsurface resistivity image reveals the deposition and transition of the overlying Neogene Vildštejn and Cypris formations, but also shows a very conductive basement of phyllites and granites that can be attributed to high

salinization or rock alteration by these fluids in the tectonically stressed basement. Distinct, narrow pathways for CO₂ ascent are not observed with this kind of setup which hints at wide degassing structures over several kilometers within the crust instead. We propose a conceptual model in which certain lithological layers act as caps for the ascending fluids, based on stratigraphic records and our results from this experiment, providing a basis for future drills in the area aimed at studying and monitoring fluids.

GE-P.06

Labormessungen zur Abhängigkeit der Induzierten Polarisation von der Ionenwertigkeit

S. J. Schreiber, A. Hördt

TU Braunschweig, IGeP (Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik), Braunschweig

Für Labormessungen der Spektral Induzierten Polarisation (SIP) werden im Allgemeinen Lösungen des Salzes NaCl als Fluidlösung verwendet. Durch chemische Bodenanalysen ist aber bekannt, dass tatsächlich auch viele weitere Ionensorten im Geländeboden gelöst sind. Deswegen ist es sinnvoll zu testen, ob die schon für NaCl bestehenden Konzepte auf andere Salze erweiterbar sind. Dazu wurden SIP-Messungen an zwei Sandsteinsorten durchgeführt, welche vorher mit NaCl-, CaCl₂-, MgSO₄- und KCl-Lösungen der Fluidleitfähigkeit $\sigma_F=100$ mS/m vollständig gesättigt wurden. Diese Salze unterscheiden sich unter anderem in den Ionenwertigkeiten der Anionen bzw. Kationen.

Aus der Literatur ist bekannt, dass die Debye-Länge λ_D einen maßgeblichen Einfluss auf die Stärke des IP-Effekts besitzt. Da die Debye-Länge λ_D wiederum von der Ionenstärke I abhängt, sind für Salze mit unterschiedlichen Ionenwertigkeiten Unterschiede im Imaginärteil der Leitfähigkeit σ'' bzw. der Phase φ zu erwarten. Die Ergebnisse der SIP-Messung bestätigen diese Vermutung.

Frequenzschnitte bei z.B. 1,15 Hz weisen für NaCl, CaCl₂, MgSO₄ zwischen dem Imaginärteil der Leitfähigkeit σ'' bzw. der Phase φ einen linearen Zusammenhang mit dem Quotienten aus Ionenstärke I und Konzentration c ; sowie einen quadratischen Zusammenhang mit der Debye-Länge λ_D auf. Zu beachten ist dabei, dass zur Herstellung derselben Fluidleitfähigkeit σ_F bei Lösungen verschiedener Salze nicht die gleichen Salzkonzentrationen c zu verwenden sind.

Ein in der Literatur vorgeschlagener Korrekturfaktor [welcher dazu verwendet wird, Ergebnisse, die mit NaCl erhalten wurden, auf CaCl₂ zu übertragen] konnte mit Hilfe dieser SIP-Datenreihen von NaCl, CaCl₂, MgSO₄ verallgemeinert werden: Es scheint ein linearer Zusammenhang mit der Debye-Länge λ_D , welche die unterschiedlichen Ionenwertigkeiten berücksichtigt, zu bestehen.

Die Messungen mit der KCl-Lösung fallen aus den oben genannten Zusammenhängen heraus. Um dies zu untersuchen, stehen noch weitere Messungen mit anderen Salzen an, wobei nun der potenzielle Einfluss von Ionenradien bzw. deren Hydrathüllenradien berücksichtigt werden soll.

GE-P.07

Modellstudien und Inversionsstrategien zur anisotropen Leitfähigkeit in der Geoelektrik

V. Nawa, A. Junge

Goethe Universität Frankfurt/Main, Geowissenschaften-Geophysik, Frankfurt/Main

Die Inversion geoelektrischer Daten erfolgt üblicherweise unter Verwendung eines skalaren Leitfähigkeitsmodells. Die elektrische Leitfähigkeit von Gesteinen im Untergrund kann sich jedoch durch unterschiedliche Mechanismen anisotrop gestalten. Diese Richtungsabhängigkeit kann einerseits intrinsisch als auch strukturell zustande kommen. Die Verwendung von anisotropen Leitfähigkeiten bei der Inversion von geoelektrischen Daten ermöglicht es weitere Informationen aus dem Untergrund zu erhalten.

Für diese Studie wurden geoelektrische Messungen im Labormaßstab auf einem Untergrundmodell mit anisotroper Anomalie durchgeführt und invertiert.

Das Labormodell besteht aus einem Becken, welches mit Wasser gefüllt einen isotropen Hintergrund darstellt. Darin eingebettet befindet sich eine anisotrope Anomalie, die mit Hilfe gebündelter paralleler Röhrrchen realisiert wurde. Die Röhrrchen sind voneinander isoliert und besitzen im Inneren eine erhöhte Leitfähigkeit. Für die Messung wurde unsere am Institut entwickelte 64-Kanal Geoelektrik-Apparatur verwendet. Die Apparatur zeichnet dabei die Signale simultan mit einer maximalen Abtastrate von 1 kHz auf. Die Datenerfassung erfolgte über eine Serie paralleler Profile mit Dipol-Einspeisungen.

Die Inversion der Daten erfolgte mit einem eigens entwickelten anisotropen FD-Code für die Vorwärtsrechnung, sowie einem klassischen Levenberg-Marquardt Inversionsalgorithmus, beides implementiert in Matlab. Für die Inversion wurde die Parametrisierung der Anisotropie variiert. Es wurde sowohl nach dem vollen Tensor invertiert, als auch nach den Hauptachsen und Winkeln.

GE-P.08

Spectral induced polarization imaging of a graphite deposit

T. Katona¹, L. Aigner¹, M. Bucker², A. Römer³, S. Nordsiek⁴, A. Flores Orozco¹

¹TU Wien, Research Division Geophysics, Wien, Österreich,

²TU Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik,

³Geologischen Bundesanstalt, Wien, Österreich,

⁴Universität Bayreuth, Lehrstuhl für Hydrologie, Bayreuth

The prospection of graphite deposits is receiving more interest in current geophysical research. This is mainly due to the possibility to use graphite for the fabrication of environmentally friendly batteries. Aiming at the development of an efficient prospection technique, we have investigated the capabilities of the spectral induced polarization (SIP) method for the prospection of graphite and the quantification of its textural parameters (e.g., matrix properties). Here, we present SIP imaging results from the grounds of a former graphite mine. The study area is located close to Zettlitz in Lower Austria, where a graphite mine was active between 1855 and 1966. The deposit is composed of graphite schist, interleaved with pyrite and iron oxides. Hence, the study area poses challenging conditions regarding the presence of two highly electrically

conductive materials. We hypothesize that the frequency dependence of the subsurface electrical conductive and capacitive properties (as assessed by SIP) can be used to discriminate between graphite, iron sulfides, and iron oxides, as required for a quantitative characterization of the site. SIP measurements have been conducted in both frequency- and time-domain IP to investigate possible advantages and drawbacks of both techniques regarding signal strength and data quality. We have also conducted transient electromagnetic (TEM) soundings to independently solve for the electrical conductivity and aid in the evaluation of the SIP imaging results. Moreover, SIP laboratory measurements have been performed on synthetic samples using well-defined composition and content of graphite, pyrite, and iron oxides, as well as on samples retrieved from the field site. For the interpretation of the SIP signatures and the estimation of parameters of interest (e.g., graphite/iron content), we have also modelled the laboratory measurements using recently developed electrochemical models. Our results demonstrate the applicability of the SIP method to improve the resolution of the various geological units at the test site and, in particular, to delineate the geometry of the graphite unit. Moreover, both field and laboratory results reveal a significant frequency-dependence of the electrical properties of graphite, even at low frequencies (<1 Hz). However, our results also demonstrate the necessity of further investigations as the discrimination between iron-bearing minerals and graphite-rich materials remains challenging.

GE-P.09

Geoelektrische Studien zur Induzierten Polarisation – Labor und Numerik

M. Maier-Rotter, A. Junge

Goethe-Universität Frankfurt/Main, Institut für Geowissenschaften, Frankfurt/Main

Die Anwendungsmöglichkeiten der Induzierten Polarisation in der Geoelektrik sind in den letzten Jahren stark gestiegen. Die kürzliche Fertigstellung eines neuen Geoelektrik-Messgerätes, das zurzeit bis zu 64 Kanäle simultan mit einer maximalen Abtastrate von 1 kHz aufzeichnet, ermöglicht u.a. im Labor vielseitige Studien zur Messtechnik. Die Studien werden in numerische Simulationen verifiziert und ergänzt.

Es soll zunächst prinzipiell geklärt werden, ob mit dem Gerät auch Effekte der Induzierten Polarisation gemessen werden können und somit dieser vielversprechende weitere Parameter genutzt werden kann.

Die Labormessungen wurden in einem Wasserbecken durchgeführt. Es wurden zwei unterschiedliche IP-aktive Materialien versenkt und Messungen unterschiedlicher Konfigurationen an der Wasseroberfläche durchgeführt. Bei den IP-aktiven Materialien handelt es sich um Galenit mit unterschiedlichen Korngrößen, eingebettet in Sand. Dies soll einem Analogmaterial für die in der Natur vorkommenden disseminierten Sulfiden entsprechen.

Die Messungen wurden in einem Frequenzbereich von 0,1 bis 50 Hz durchgeführt. Für die numerische Simulation wurde ein Matlab-basierter FD-Code entwickelt. Die Berechnung des IP-Effektes erfolgt im Frequenzbereich.

Verglichen werden die Phase, sowie der real- und imaginär-Anteil des scheinbaren spezifischen Widerstandes. Die Ergebnisse werden als Pseudosektionen für verschiedene Frequenzen, sowie der jeweilige Widerstands-Frequenzgang für unterschiedliche Messungen dargestellt.

GE-P.10

Faktorisieren hydraulischer Konnektivität mittels SIP

F. Dinsel, F. Börner, C. Rücker

Technische Universität Berlin, Angewandte Geowissenschaften, Berlin

Preferenzielle Fließpfade in heterogenen Grundwasserleitern zu erkunden, erfordert nach wie vor großen Aufwand und wird hauptsächlich mit hydraulischen Mitteln durchgeführt. Diese Pfade sind hydraulisch leitfähig und die Poren sind wassergesättigt, so dass vorrangig geoelektrische Methoden in Betracht kommen - vor allem Spektral Induzierte Polarisation (SIP). SIP nutzt Strom verschiedener Frequenzen, um Effekte der Kornoberflächen-Porenwasser-Wechselwirkungen auf verschiedenen Skalen aufzulösen und erlaubt Rückschlüsse über elektrische Leitfähigkeit, Kapazität und Relaxationsprozesse. Diese elektrischen Parameter hängen bekannterweise mit den hydraulischen Eigenschaften des Grundwasserleiters zusammen.

Mit dem Ziel eine Methode zu finden, die die Erkundung hydraulischer Konnektivität verschieden dimensionierter Szenarien ermöglicht, wird diese Eigenschaft im Rahmen des DFG-Projekts "K-Connect" untersucht. Dafür werden u.a. Labormodelle und numerische Modelle entwickelt, die Schritt für Schritt in Dimension und Komplexität zunehmen.

GE-P.11

Induzierte Polarisation auf der archäologischen Ausgrabungsstätte in Schöningen

H. Mersmann¹, A. Hördt²

¹TU Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik, TU Braunschweig, Braunschweig, ²TU Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik, Braunschweig

Mit dem Fund der Schöninger Speere auf der Ausgrabungsstätte Schöningen veränderte sich das Verständnis für die Entwicklung der Menschheitsgeschichte. Seit inzwischen über 20 Jahren stehen diese daher im Fokus wissenschaftlicher Feldarbeit und Publikationen.

Laufende Ausgrabungen werden durch die Methode der Spektralen Induzierten Polarisation unterstützt, indem ein räumliches 2D-Modell den Untergrund schematisch darstellt. Ziel der Arbeit ist die Beurteilung der Methode der multispektralen 2D-Inversion als ein geeignetes Werkzeug zur Erstellung eines 2D-Modells des Untergrundes. Durch die auf der Ausgrabungsstätte vorliegende offen sichtbare Lithologie (verschiedene Ausgrabungsebenen) kann die Bewertung im direkten Vergleich durchgeführt werden. Zudem können in diesem Zusammenhang für die Grabung relevante Schichten identifiziert werden.

Die Messungen wurden mit dem System SIP256C von Radic Research durchgeführt. Vermessen wurden zwei Profile über 20 m, mit 1 m bzw. 0,5 m Elektrodenabstand und im Frequenzbereich zwischen 312 mHz und 1 kHz. Die Auswertung der Messergebnisse fand mittels einer multispektralen 2D-Inversion (Cole-Cole) des Programms AarhusInv statt. Die Ergebnisse dieser wurden mit den Ergebnissen der Inversion einzelner Frequenzen verglichen. Dargestellt wurden u.a. die Cole-Cole Parameter „Spezifischer Widerstand“ und „Aufladbarkeit“. Die Ergebnisse zeigen eine Übereinstimmung

zwischen dem 2D-Untergrundmodell und der Lithologie, mehrere Schichten korrelieren eindeutig. Weiterhin liefert die multispektrale 2D-Inversion qualitativ hochwertigere Ergebnisse gegenüber der Auswertung einzelner Frequenzen. Es treten Bereiche sehr hoher Aufladbarkeiten auf, deren Ursache noch nicht abschließend geklärt ist. Weitere Untersuchungen durch Bohrungen, eine Kombination mit anderen geophysikalischen Methoden wie zum Beispiel dem Bodenradar, einen kleineren Elektrodenabstand, oder auch eine vertikale Anbringung der Elektroden an den Untergrund würden die Methode der Spektralen Induzierten Polarisation validieren.

GE-P.12

Messung der Spektralen Induzierten Polarisation durch einfache Ankopplung mit EKG-Elektroden – liefert die Phaseninformation einen Mehrwert?

S. Costabel¹, T. Günther², T. Martin³

¹Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Berlin, ²Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Hannover, ³Lund University, Lund, Sweden

Für elektrische Labormessungen an Festgesteinen ist es nicht immer möglich, Proben mit regulärer Geometrie (z.B. Bohrkerne) zu gewinnen. Das Material der hier vorgestellten Studie sind z.B. mechanisch sehr instabile Schwarzschiefer aus dem Thüringer Wald. Die Ermittlung der elektrischen Eigenschaften dieser Schiefer ist jedoch für die Interpretation von elektromagnetischen (EM) Messungen, die im Rahmen des BMBF-geförderten Projekts DESMEX im Altbergbaugebiet Schleiz/Greiz durchgeführt wurden, von großer Bedeutung.

Wir stellen den galvanischen Kontakt zu Handstücken beliebiger Geometrie mittels handelsüblicher EKG-Elektroden her, um Messungen der Spektralen Induzierten Polarisation (SIP) zu realisieren. Zur Berechnung des Geometriefaktors wird über einen 3D-Scan ein digitales Abbild des Probenkörpers und der Ankopplungsflächen erzeugt, für das wiederum die elektrische Feldausbreitung mit Hilfe der Software BERT simuliert wird. Die so ermittelten Werte des spezifischen Widerstandes (ρ) der Schwarzschiefer liegen zwischen 2 und 20000 Ωm und geben damit den Wertebereich sowohl aus Archivdatenbanken (geoelektrische Sondierungen aus den 1970-iger Jahren) als auch der aktuellen EM-Datenerhebung von 2017 wieder. Die Messmethode ist also zumindest für die Ermittlung von ρ ein brauchbares Verfahren.

Nun stellt sich die Frage, ob auch die SIP-Phaseninformation einen wissenschaftlichen Mehrwert darstellt. Die Ursache für den großen ρ -Wertebereich unter den Schwarzschieferproben liegt in den stark variierenden Gehalten an Pyrit und diversen Kohlenstoffverbindungen. Diese Bestandteile müssen signifikante Phasenverschiebungen erzeugen und in der Tat weisen sämtliche SIP-Messungen an diesen Proben im Gegensatz zu anderen Gesteinsarten aus dem Messgebiet z.T. enorme Phasenverläufe auf. Unklar ist jedoch, inwieweit die galvanische Kontaktierung der EKG-Pads weitere Phaseneffekte verursacht und inwieweit diese Effekte von der inhärenten Polarisierung getrennt werden können.

GE-P.13

Charakterisierung der komplexen elektrischen Eigenschaften künstlicher Mischproben aus Sand und technischer Ionentauscherharzen

M. Sonntag, J. Börner

TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik/Geoinformatik, Freiberg

Technische Ionentauscherharze sind vielfältig einsetzbar und besitzen spezifische ionenselektive Eigenschaften, wie z.B. eine definierte volumenspezifische reaktive Oberfläche mit hoher Ionenaustauschkapazitäten bzgl. der jeweiligen Gegenionen. Für diese SIP-Laboruntersuchungen wurden unterschiedliche Mischproben aus Quarzsand und diversen technischen Ionentauscherharzen hergestellt. Hierbei soll die Abhängigkeit der komplexen elektrischen Eigenschaften der Mischproben vom Massenanteil des Tauschermaterials sowie dessen Partikelgröße untersucht werden. Aufgrund der relativ geringen Dichte der kugelförmigen Ionentauscherharzpartikel bzgl. des Quarzsandes sind homogene Mischproben nur mit Hilfe eines Trägermediums herstellbar. Hierfür wurde Agar-Agar-Gel auf Wasserbasis mit einer definierten elektrischen Leitfähigkeit verwendet. Auch die Interaktion von Kat- und Anionentauscherharz sowie der Einfluss des Agar-Agar-Gels ist Bestandteil dieser Arbeit.

Schon die Anwesenheit von geringen Mengen technischen Ionentauscherharzes in den Mischproben führt zu einer signifikanten Steigerung der Polarisierbarkeit der Mischproben. Sowohl der Realteil als auch der Imaginärteil der komplexen elektrischen Leitfähigkeit sind sensitiv gegenüber dem Massenanteil an Ionentauscherpartikeln. Der Imaginärteil steigt proportional zum Massengehalt an Ionentauschermaterial an und bildet gleichzeitig eine starke Frequenzcharakteristik aus. Im Realteil ist ein deutlicher Niveaustieg mit zunehmenden Massenanteil an Harzpartikeln zu verzeichnen.

Weiterhin weist der frequenzabhängige Imaginärteil der komplexen elektrischen Leitfähigkeit eine partikelgrößenabhängige Frequenzcharakteristik auf, wobei mit zunehmender Harzpartikelgröße die Peakfrequenz sinkt. Eine Vermischung der unterschiedlichen Partikelgrößen führt zu einer Überlagerung der Frequenzcharakteristik der Einzelpartikelgrößen. Dieser Effekt ist auch bei der Mischung von unterschiedlichen Harztypen (Kat- und Anionentauscherharz) zu beobachten.

Auch die Leitfähigkeit des Trägermediums hat eine starke Auswirkung auf den Real- und Imaginärteil der komplexen elektrischen Leitfähigkeit, wobei beide Größen mit steigender elektrischer Leitfähigkeit des Agar-Agar-Gels zunehmen.

GE-P.14

Effects of near surface resistivity changes on time lapse ERT inversion

R. von Bülow¹, N. Klitzsch²

¹RWTH Aachen, AICES, Aachen, ²RWTH Aachen, GGE, Aachen

Time lapse Electrical Resistivity Tomography (ERT) to deduce hydraulic properties of aquifers is widely used in hydrogeology. A major problem while using surface

measurements are near surface changes in resistivity over time. Changes in deep aquifer regions we aim to monitor with time lapse ERT might be masked by near surface changes over the monitoring period. We report here on three approaches to overcome such artifacts. First, we applied them on artificial data and, second, on ERT field data obtained during a fresh water injection test.

We distinguish between two main sources of disturbance. First: known surface features like surface ditches used for drainage with varying water fillings and therefore resistivities over time. Second: unknown changes due to soil-atmosphere interactions, e.g. water accumulation in slight surface depressions. Additional to these sources random noise influences the data.

To deal with the near surface changes, we tried three approaches:

First, we simply excluded the electrodes nearby the ditch to reduce its influence. The results seem to be reliable, but we lose sensitivity in depth of the aquifer. The resolution of the injected plume seems to be decreased. Resistivity changes at other locations are not addressed by this approach. Nevertheless, changes within the aquifer, linked to our injection, are more distinct, both in the artificial and field data.

Second, we included the shape of the ditch into the inversion mesh and inverted for the values on a very refined mesh. This requires a very long calculation time but the result shows less artifacts at the surface below the ditch. Similar to our first approach, we could replicate the synthetic result on our field data.

In a third approach, we inverted the data sets with region dependent regularization factors to allow small scale changes near the surface and to apply more smoothing in the aquifer where we expect the large and slowly moving injection plume. The synthetic results show small scale changes of the first layers which do not influence the inversion result below them as strong as before. The changes in depth are less masked and the simulated injection body is better resolved.

We suggest to simply downweight heavily disturbed near surface data points during the inversion of time lapse monitoring data. A region based inversion could improve the results. All known surface features should be included into the inversion mesh or at least by locally refinement to avoid artifacts.

GE-P.15

Mikroskalige Simulation und Visualisierung von IP Signalen im Zeitbereich mit Matlab

E. Zibulski, S. Singh, N. Klitzsch

RWTH Aachen, Aachen

Seit ihrer Entdeckung erfreut sich die Methode der induzierten Polarisation (IP) wachsendem Interesse als nicht-invasive oberflächennahe Explorationsmethode. IP-Effekte in Gesteinen mit nichtleitender Matrix werden in erster Linie der elektrischen Doppelschicht, einer Anomalie der Ionenverteilung an der Grenzfläche zwischen Matrix und Porenwasser, zugeschrieben. Um den Einfluss der elektrochemischen Eigenschaften der Grenzfläche sowie der Porenraumgeometrie auf IP-Signale besser zu verstehen, bedienen wir uns numerischer Simulationen an vereinfachten Gesteinsmodellen. Für diesen Zweck präsentieren wir ein eigens entwickeltes Simulationsprogramm, mit dem das Poisson-Nernst-Planck (PNP) Gleichungssystem im Zeitbereich gelöst wird. Dafür stellen wir eine grafische Bedienoberfläche für eine bequeme Konfiguration von Simulationen bereit, mit der gängige Parameter schnell und einfach variiert oder

Parameterstudien eingerichtet werden können. Zusätzlich haben wir auch ein Visualisierungsprogramm geschrieben, mit dem die simulierten Parameter auf mehrere Arten visualisiert und weiterverarbeitet werden können. Die vorgestellten Programme wurden in Matlab geschrieben und sollen demnächst der Allgemeinheit zur Verfügung gestellt werden.

Geophysik in der Öffentlichkeit // Vorträge

GO-1.01

Die Öffentlichkeitsarbeit der Geowissenschaften in Deutschland: Situation und Herausforderungen

C. Ellger

GeoUnon Alfred-Wegener-Stiftung, Potsdam

Die Einsicht, dass die Geowissenschaften – d.h. insbesondere ihre Aufgaben, Bedeutung und Leistungen – in der Öffentlichkeit in Deutschland zu wenig auftauchen und viel zu wenig bekannt sind, wird in fachinternen Diskussionen immer wieder betont. Auch die Ursachen dafür sind im Wesentlichen bekannt; sie sind vielfältig: Geowissenschaftliche Inhalte kommen schon in der Schule nicht (mehr) vor, weil geowissenschaftliche Disziplinen in der Regel kein Schulfach sind. Die früher gepflegte „Geographische Landeskunde“, die einst regional differenzierend eine Brücke zwischen Bevölkerung und Geowissenschaften bildete, ist radikal zusammengestrichen worden. In der politischen Diskussion haben sich in den letzten Jahrzehnten neben sozialen und wirtschaftlichen Aspekten vor allem ökologische Themen in den Vordergrund gestellt. Akteure in den Medien haben häufig keinen Bezug zu den geowissenschaftlichen Disziplinen, ihren Inhalten und Fragestellungen.

Aber: Zum einen gibt es für all die oben beschriebenen Phänomene auch interessante erfreuliche Ausnahmen. Und darüber hinaus geschieht ja bereits Einiges an geowissenschaftlicher Öffentlichkeitsarbeit – durch die geowissenschaftlichen Verbände, die großen Forschungseinrichtungen mit ihren Abteilungen für Öffentlichkeitsarbeit, durch Universitätsinstitute und naturwissenschaftliche Museen sowie durch die geologischen Dienste der Bundesländer und die BGR. Als ein besonders geeignetes Instrument geowissenschaftlicher Öffentlichkeitsarbeit hat sich darüber hinaus in den letzten 20 Jahren das (immer noch relative neue und ebenfalls wenig bekannte) Konzept der Geoparks etabliert. International sind Geoparks seit 2015 eine Initiative der UNESCO und Teil des ‚International Geoscience and Geoparks Programme‘, das UNESCO und IUGS gemeinsam betreiben; in Deutschland hat sich seit 2002 das vom Bund-Länder-Ausschuss Bodenforschung getragene Programm „Nationale GeoParks in Deutschland“ sehr positiv entwickelt.

Aktuell geht es darum, all diese Entwicklungen zu verstärken, zu verstetigen – und besser miteinander zu verknüpfen. Auch dafür gibt es gute Ansätze. Und vielleicht lassen sich auch noch ganz neue Ideen finden, um die unstrittig große Bedeutung der Geowissenschaften für unsere Gesellschaft und für die Welt noch erfolgreicher zu verbreiten.

GO-1.02

Archäometrie in der Schule

F. Fieberg

Hoffmann von Fallersleben Schule, Braunschweig

Die Lust am Entdecken verborgener Dinge ist die vielleicht wichtigste Triebfeder in der Schule. Welche Möglichkeiten die angewandte Geophysik hier bereits Schülern ab der Mittelstufe bietet, soll an einigen Beispielen gezeigt werden.

Mit Unterstützung kompetenter Partner vor Ort – wie Archäologen und Heimatpflegern und den damit verbundenen Organisationen – konnten einige interessante lokale und regionale Ziele identifiziert werden. Insbesondere wurden ein monumentales, neolithische Erdwerk bei Salzgitter und eine mittelalterliche Buranlage bei Braunschweig entdeckt und über mehrere Jahre hinweg mit verschiedenen geophysikalischen Methoden untersucht. Über die neuesten Ergebnisse, die im Rahmen der Geophysik-AG am Hoffmann-von-Fallerleben Gymnasium in Braunschweig bearbeitet wurden, soll hier berichtet werden.

Ein Problem ist dabei die naturgemäß beschränkte Ausstattung der Schulen. Einige Projekte konnten mit selbst gebauten Messapparaturen bei überschaubarem finanziellen Aufwand durchgeführt werden. Bei teureren Verfahren bieten sich Universitätsinstitute oder Forschungseinrichtungen als Partner an. Hierzu werden einige Anregungen aus eigener Erfahrung gegeben.

Neben dem Bau von Messgeräten und den eigentlichen Feldeinsätzen stellt die Auswertung der Daten und schließlich das Repräsentieren der Ergebnisse weitere Herausforderungen an die Schüler.

Eine Motivation hier bieten Wettbewerbe wie „Jugend forscht“ oder das Seminarfach, auch hierzu werden Beispiele vorgestellt.

Geophysik in der Öffentlichkeit // Poster

GO-P.01

Nordosteuropäische Forschungslabore unter Tage: Geophysik im Forschungs- und Lehrbergwerk Reiche Zeche (Freiberg)

V. Lay¹, S. Buske¹, K. Jaksch², R. Giese², D. Horner³, T. Müller³, F. Schreiter³, H. Mischo³

¹TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg,

²Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum, Zentrum für Wissenschaftliches Bohren, Potsdam,

³TU Bergakademie Freiberg, Institut für Bergbau und Spezialtiefbau, Freiberg

Im Rahmen des EU-Projektes BSUIN (Baltic Sea Underground Innovation Network, <http://bsuin.eu>) schließen sich nordosteuropäische Untertage-Forschungslabore (UL) im Ostseeraum zusammen, um ein effizientes, zukunftsfähiges Netzwerk aufzubauen. Die beteiligten Institutionen befinden sich in Finnland, Sweden, Russland, Polen und Deutschland.

Ziel dieses Forschungsverbundes ist es zunächst, gemeinsame Methoden für die Charakterisierung der Untertagelabore anzuwenden. Durch die Standorte unter Tage entsteht im Vergleich zu Laboren über Tage eine komplett andere Umgebung, die detailliert beschrieben werden muss. Darauf aufbauend wird das Innovationspotential der Standorte analysiert und verbessert. Durch die Bündelung der vielfältigen Expertise wird eine starke Gemeinschaft für zukünftige Projekte im Rahmen des BSUIN Netzwerkes gebildet. Um die einzelnen Untertagelabore zu charakterisieren, werden sowohl die Strukturen unter Tage, die Organisation und Infrastruktur im Allgemeinen, als auch die Hintergrundstrahlung sowie vorliegende geophysikalische Charakterisierungen zusammengestellt und analysiert.

Am Beispiel des Forschungs- und Lehrbergwerks Reiche Zeche in Freiberg wird die Bandbreite an geophysikalischen Untersuchungsmethoden und deren Erkenntnisse aufgezeigt. Neben großskaligen Kartierungen (z.B. Gravimetrie und Magnetik) existieren vor allem vielfältige kleinskalige Datensätze, die innerhalb der letzten Jahrzehnte aufgenommen wurden. Dabei reichen die angewendeten Methoden von Seismik-Tomographie bis zu hochauflösender Geoelektrik.

Die bisher getätigten Untersuchungen zeigen auch, wie geophysikalische Methoden zur Charakterisierung bestimmter Abschnitte im Bergwerk verwendet werden können. Somit unterstützen die gewonnenen Erkenntnisse auch aktuelle Forschungsprojekte, wie zum Beispiel bei der Untersuchung von modernen Techniken zur Erzgewinnung. Zusätzlich finden praktische geophysikalische Übungen im Rahmen von Untertagepraktika statt und sind damit ein wichtiger Teil in der studentischen Ausbildung. Schließlich stellt das Bergwerk eine einmalige Umgebung für die geophysikalische Geräteentwicklung unter Tage dar.

Gravimetrie // Poster

GR-P.01

Sensitivity study on separation of crustal and mantle contribution to the Alpine gravity field

M. Lowe, J. Ebbing, A. El-Sharkawy, T. Meier

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

The tectonic evolution of the Alpine region is continuously discussed among geoscientists. Especially the existence and direction of subducting slabs, as seen in seismic tomography, are part of the debate. However, the orientation and geometry of a slab reaching into the mantle is essential to the geodynamic modelling.

In conventional gravity, the crust is the dominating quantity, however slabs are almost impossible to identify. We analyze the Alpine gravity field in order to separate the gravity signal caused by slab segments from ambient mantle. Therefore, we use gravity gradients to test if there is an increased sensitivity to the gravity signals caused by slabs. For this task, we present a density model from the surface down to 300 km depths. We construct slab geometries with constant thickness of 80 km for the Alpine region based on a recent surface wave tomography model and available Moho maps. Using these geometries, slabs are implemented into our model. Additionally the thermal and

compositional properties of the slabs are considered. The gravity fields, as well as the gravity gradients were calculated from our model with tesseroids for a spherical Earth in heights of 10 km and 225 km.

Performing a parameter study by testing different slab geometries, compositions and thermal parameters, we can determine the contribution of the slabs to the Alpine gravity field and estimate the sensitivity of a gravity field for slabs in the subsurface.

GR-P.02

Antarctica's lithospheric structure from integrated 3d modelling

F. Pappa¹, J. Ebbing¹, F. Ferraccioli², W. van der Wal³

¹Kiel University, Institute of Geosciences, Kiel,

²British Antarctic Survey, Institute of Geosciences, Cambridge, United Kingdom,

³Delft University of Technology, Delft, Niederlande

The lithospheric structure of Antarctica has been investigated by a couple of studies with different geophysical methods in recent years. However, the findings are not always in agreement, and uncertainties regarding the thermal and density structure of the lithosphere are high. Significant discrepancies exist as well in depth estimation of the crust-mantle boundary (Moho). This has large implications for predictions of numerical models of glacial isostatic adjustment (GIA).

We present a 3-dimensional model of the Antarctic lithosphere and sub-lithospheric upper mantle, integrating seismological and satellite gravity gradient data in a thermodynamically self-consistent framework, which helps to reduce the inconsistencies and ambiguities from separate geophysical methods. Our results indicate that Antarctica is largely in isostatic equilibrium, however, the topography of some regions seem to have components that cannot be explained by pure isostasy.

A new Moho depth map of the continent is derived that is consistent with the gravity gradient field and satisfies seismic crustal thickness estimates. It exhibits detailed thickness variations in East Antarctica, also in regions with sparse seismic station coverage where crustal thickness estimates in previous studies were unreliable.

The subsurface thermal field of our model is used to estimate mantle viscosity. We find that viscosity values at shallow depth (150 km) in the south part of the Ross Sea, part of the Antarctic Peninsula, and East Antarctic coastal areas are lower than previous estimates of 3D mantle viscosity. This increases the importance of late Holocene ice mass changes in these areas and underlines the requirement of improving mantle viscosity estimates from a combination of geophysical methods.

GR-P.03

Analyse und Modellierung von Schweremaxima in Hessen

B. Homuth¹, D. Nesbor¹, P. Smilde², V. Becker², M. Krieger², C. Müller²

¹Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, Wiesbaden,

²TERRASYS Geophysics, Hamburg

Zwei Schweremaxima wurden bei Ober-Ramstadt und Gladenbach in Hessen analysiert und Modellierungen zu möglichen Quellen durchgeführt. Ziel dieser Arbeiten war es, unter Verwendung der durch das Hessische Landesamt für Bodenmanagement und

Geoinformation neu vermessenen hessischen Gravimetriedaten, zusammen mit weiteren geophysikalischen und geologischen Daten, genauere Erkenntnisse zu den Ursachen dieser Schweremaxima zu erlangen. Die neu vermessenen gravimetrischen Daten liefern eine deutlich höher aufgelöste Datenbasis im Vergleich zu früheren Messkampagnen.

Für das Schwerehoch bei Ober-Ramstadt, welches lagemäßig mit der Erdbebenserie der Jahre 2014 und 2015 im Odenwald zusammenfällt, sollten Fragen bezüglich der Tiefenlage der dichteren Gesteine und der Einordnung möglicher Quellen in das Tektonik- und Verwerfungsmuster geklärt werden. Im Falle des gravimetrischen Maximums im Bereich der Geologischen Karte GK 25 Blatt 5217 Gladenbach sollte untersucht werden, ob dieses durch eine Lagerstätte mit Anteilen höherer Gesteinsdichte verursacht sein könnte, oder ob Hinweise auf andere mögliche Ursachen abgeleitet werden können.

Für beide Gebiete wurden die Schweredaten aufbereitet und Attributkarten für eine aussagekräftigere qualitative Interpretation der Daten im Hinblick auf mögliche geologische Quellen erstellt. Analog wurde dies auch für die vorhandenen Magnetikdaten durchgeführt. Neben diesen qualitativen Analyseverfahren kamen ergänzend direkte Verfahren zum Einsatz, um die Tiefenlagen der Anomalien verursachenden Quellen quantitativ abzuschätzen. Darauf aufbauend wurden 3D-Modelle (von einfachen konischen Körpern, über Polygonkörper bis hin zu komplexeren von der Oberflächengeologie beeinflussten Modellen) erstellt, die die gemessene Schwere und Magnetik erklären bzw. Hinweise zu möglichen Erklärungsansätzen liefern sollten.

Wir stellen die Ergebnisse dieser Analysen und Modellierungen, als auch erste geologische Interpretationen vor.

Geschichte der Geophysik // Vorträge

GS-1.01

Fake News: Henry Cavendish misst 1798 Newtons Gravitationskonstante!

J. Fertig

Institut für Geophysik, TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld

In keiner der drei Auflagen ab 1687 von NEWTONs *PRINCIPIA* findet sich eine Formel für das Gravitationsgesetz in heutiger Form. In jener Zeit sind alle Aussagen in der Form von Verhältnissen nach EUKLID dargestellt und Proportionalitätskonstanten gibt es nicht! NEWTONs Relationen finden sich bei der Betrachtung von grossen Massen bestätigt; z.B. bei Planeten- und Mondbahnen und deren Störungen, oder am Phänomen von Ebbe und Flut. Massenverhältnisse von Himmelskörpern mit Monden kann man zwar bestimmen, aber keine absoluten Werte. Einen direkten Nachweis der Wirkung einer Anziehung zwischen kleinen Massen auf der Erde hält NEWTON selbst für aussichtslos!

Im Jahr 1798 gelingt es dem öffentlichkeitsscheuen, aber exzellenten Experimentator und Entdecker des Wasserstoffs CAVENDISH mit einer Drehwaage nach einer Idee von

COULOMB und einem Prototyp von MICHELL die mittlere relative Erddichte D im Vergleich zu Wasser zu bestimmen. Der wesentliche "Trick" bei der Dichtebestimmung ist das "Ausschalten" der überragenden vertikalen Schwerewirkung auf die durch die Anziehung ruhender, grosser Massen auf ein horizontal schwingfähige kleine Massen. Der Vergleich mit einem imaginären vertikal schwingenden "Sekundenpendel" (HUYGENS) liefert dann die entscheidenden Kraftrelationen. Für CAVENDISH gilt es: " ... to find the force required to draw the arm aside,...,which is to be determined by the time of a vibration". Gemessen werden die Auslenkung B (Skalenteile) und die Anzahl N der Schwingungen (Sekunden). Der Gang der Berechnung von D und die von CAVENDISH genau bestimmten Reduktionen und Korrekturen werden in der originalen Form skizziert. CAVENDISH erhält für die relative Dichte die Beziehung: $D = N^2/(10.683 \times B)$ und dafür den Wert 5,48 (korr. 5,448); dieser stimmt mit dem heutigen Wert von 5,51 auf ca. 1% überein!

Das CAVENDISH-Experiment wird später als "*physikalische Experimentierleistung ersten Ranges*" (RAMSAUER) bezeichnet. Ungefähr 200 Jahre nach NEWTON und 70 Jahre nach CAVENDISH wird endlich 1873 mit Einführung von Masseinheiten die *Gravitationskonstante* durch CORNU und BAILLE bestimmt. 100 Jahre nach CAVENDISH ändert EÖTVÖS die Messanordnung in ein *Horizontalvariometer* zum Nachweis der Äquivalenz von träger und schwerer Masse und in ein Instrument zur Erkundung geoloischer Strukturen im Untergrund.

Die in vielen "modernen" Lehrbüchern der (Geo-)Physik gemachte Aussage: "*Cavendish hat Newtons Gravitationskonstante gemessen!*" ist zumindest ein Anachronismus!

GS-1.02

Karl Almstedt – Braunschweiger Mitbegründer der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft

K.-H. Glaßmeier¹, F. Jacobs²

¹TU Braunschweig, IGEP, Braunschweig, ²Universität Leipzig, Institut für Geophysik, Leipzig

Karl Friedrich Almstedt ist einer der 24 Mitbegründer der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft. Wenig ist bisher über Leben und Wirken von Karl Almstedt bekannt gewesen. Er wurde am 22. Oktober 1891 in Jerxheim (Kreis Helmstedt) geboren und verstarb in Folge eines Autounfalls am 30. November 1964 in Braunschweig. Promoviert bei Emil Wiechert im Jahr 1913 arbeitete Almstedt noch einige Jahre in der Wissenschaft und mit Ludger Mintrop, um dann als Gymnasiallehrer tätig zu werden. 1933 wurde er aus dem aktiven Schuldienst entfernt, 1945 rehabilitiert. Das ereignisreiche Leben dieses Mitbegründers der DGG wird anhand zahlreicher historischer Dokumente vorgestellt.

GS-1.03

Wiechert, Mintrop & Co - Die 24 Gründungsväter der DGG im Jahre 1922.

F. Jacobs, M. Börngen

Universität, Leipzig

Die Deutsche Geophysikalische Gesellschaft DGG wurde am 19. September 1922 in Leipzig gegründet. 24 Persönlichkeiten aus 14 deutschen Städten sind im ersten Mitgliederverzeichnis der DGG, damals noch Deutsche Seismologische Gesellschaft, als Gründungsmitglieder verzeichnet.

Der Vortrag soll in Vorbereitung auf das 100-Jahre-Jubiläum der DGG 2022 an die Gründungsväter mit Emil Wiechert aus Göttingen an der Spitze erinnern. Die uns überkommenen Kenntnisse zu den einzelnen Personen stellen sich recht inhomogen dar. Zur Würdigung von weltweit bekannten Pionieren der Geophysik, wie neben Wiechert auch Oskar Hecker, Beno Gutenberg und Ludger Mintrop, existieren zahlreiche Dokumente. Zu anderen fehlt noch fast jegliches Material. Von den nachfolgend Genannten der Gründer verfügen wir noch nicht über ein Foto, weder als Porträt noch als Person auf einem Gruppenbild: Karl Almstedt, Ernst August Ansel, Rudolf Berger, Wilhelm Löhr, Konrad Zeissig.

Der Vortrag ist somit auch eine Bitte um Unterstützung bei der „Spurensuche“.

DIE GRÜNDER: Karl Almstedt, Braunschweig; Karl Erich Andrée, Königsberg; Gustav Angenheister, Göttingen; Ernst August Ansel, Freiburg; Rudolf Berger, Potsdam; Friedrich Burmeister, München; Friedrich Errulat, Königsberg; Immanuel Friedlaender, Berlin/Neapel; Beno Gutenberg, Darmstadt; Wilhelm Haubold, Hannover; Oskar Hecker, Jena; Franz Kossmat, Leipzig; Gerhard Krumbach, Jena; Wilhelm Löhr, Bochum; Karl Mack, Hohenheim; Ludger Mintrop, Hannover; Peter Polis, Aachen; Richard Schütt, Hamburg; Wilhelm Schweydar, Potsdam; August Sieberg, Jena; Erich Tams, Hamburg; Julius Wagner, Frankfurt/M.; Emil Wiechert, Göttingen; Konrad Zeissig, Darmstadt.

GS-1.04

„Eötvös100“, Lebenswerk von Loránd Eötvös.

T. Ormos

Universität Miskolc, Sopron, Ungarn

Loránd Eötvös, Physiker und Geophysiker, ist vor 100 Jahren, am 08.04.1919 in Budapest gestorben. Zur Erinnerung an den weltweit berühmten Geophysiker eröffnete die Ungarische Akademie der Wissenschaften das „Eötvös100“ Erinnerungsjahr im Januar 2019, mit der Unterstützung der UNESCO.

Passend zu den mehreren vorgesehenen Tagungen, Ausstellungen und Erinnerungen auch international gibt dieser Beitrag einen Überblick über Lebenslauf und Lebenswerk des ehemaligen Heidelberger Studenten Loránd Eötvös. Es werden seine berühmten und wichtigsten physikalischen/geophysikalischen Ergebnisse wie Eötvös-Gesetz

(Kapillarität), Magnetische Translatometer, Eötvös-Effekt, Drehwaage, Eötvös-Äquivalenzprinzip und Anwendungen in der Rohstofferkundung angesprochen.

Der Beitrag wird auch seine weniger bekannten Tätigkeiten zeigen. Er war Präsident der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Minister für Bildung und Religion und Rektor der später nach ihm ernannten Universität Loránd Eötvös in Budapest.

Der „Ungarische Baron“ hat ein sportliches Leben geführt, er war erfolgreich auch beim Bergsteigen. Er hat den Monte Rosa / Süd-Schweiz erobert, und zu seiner Anerkennung wurde ein Gipfel in den Dolomiten / Süd-Tirol nach ihm benannt.

Es werden als Kuriosität seine – in den letzten Zeiten digital aufgearbeiteten – Stereoaufnahmen vorgeführt, die er selbst auf Feldmessungen, und in den Alpen beim Bergsteigen mit Stereokamera noch auf Glas geknipst hat. Zum Betrachten der Digital-Stereo Bilder werden Stereo-Betrachter Brillen an das Publikum verteilt.

Geothermie/Radiometrie // Vorträge

GT-1.01

Geostatistisches 3D-Temperaturmodell des Untergrunds von Deutschland auf Grundlage neu-korrigierter Messungen

T. Agemar¹, M. Özer², J. Brunken¹

¹LIAG, Hannover, ²TU Clausthal, Clausthal

Ob ein Geothermie-Projekt erfolgreich ist, hängt sehr vom Standort ab. Die Untergrundtemperatur ist ein entscheidender Parameter für die geothermische Energiegewinnung. Auf der Grundlage neuer und neu korrigierter Daten wurde ein neues 3D-Temperaturmodell des Untergrunds von Deutschland erstellt. Die dafür verwendeten Temperaturmesswerte werden am LIAG im Fachinformationssystem Geophysik (FIS GP, <https://www.fis-geophysik.de>) zusammen mit den dazugehörigen Bohrlochdaten gespeichert. Zwei neue Korrekturverfahren für in Bohrlöchern gemessene Temperaturen wurden seit der letzten Erstellung des 3D-Temperaturmodells eingeführt. Das erste Korrekturverfahren betrifft einfach belegte BHT-Werte und basiert auf einer besseren Abschätzung der nicht gemessenen Temperatur bei Spülungsstopp. Zuvor wurde diese Temperatur aus Oberflächentemperatur und Formationstemperatur gemittelt. Das verbesserte Verfahren verwendet eine empirisch bestimmte Korrelation, die neben Oberflächentemperatur, Formationstemperatur auch den Bohrlochradius berücksichtigt. Das zweite Korrekturverfahren betrifft gestörte Temperaturlogs im östliche Teil des Norddeutschen Beckens. Dieses Verfahren basiert auf empirisch ermittelten Kreuzungspunkten von gestörten und ungestörten Temperaturlogs. Dabei werden Messwerte oberhalb des Kreuzungspunktes nach unten und Messwerte unterhalb des Kreuzungspunktes nach oben korrigiert. Zuvor wurden gestörte Logs für die Erstellung von 3D-Temperaturmodellen je nach Ausmaß der Fehlmessung unkorrigiert verwendet oder verworfen.

Das 3D-Temperaturmodell selbst wird durch 3D-Kriging berechnet. Mit dieser

Methode lässt sich auch die Unsicherheit der Prognose abschätzen. Bei der Auswahl der Temperaturmessungen wurde ein abstandsbasierter Qualitätsfilter verwendet. Hierbei wurde die Einteilung der Temperaturmessungen nach Qualitätskriterien um eine weitere Kategorie erweitert. Durch diese Maßnahmen ist das aktuelle 3D-Temperaturmodell in vielen Bereichen gegenüber dem Vorgängermodell deutlich genauer geworden. Das neue 3D-Temperaturmodell ist bereits im frei zugänglichen Geothermie-Informationssystem GeotIS (<https://www.geotis.de>) implementiert.

GT-1.02

Continuous high resolution gravity measurements at a geothermal field in Northern Iceland

F. Schäfer¹, P. Jousset¹, J. Hinderer², C. Voigt¹, B. Männel¹, K. Erbas¹, A. Jolly³, N. Portier², S. Rosat², T. Schöne¹, S. Schröder¹, R. Warburton⁴, A. Güntner¹

¹GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, ²EOST, Université of Strasbourg, Strasbourg, France, ³GNS, Wellington, New Zealand, ⁴GWR Instruments Inc., San Diego, United States of America

For a better understanding of the sustainability of geothermal resources, we want to quantify subsurface mass changes caused by production and injection of fluids at the Theistareykir geothermal field in Northeast Iceland. For this purpose, we installed three superconducting gravity meters (iGrav006, iGrav015 and iGrav032) and two spring gravity meters (gPhone061 and gPhone128) in vicinity to the new geothermal power plant that started operation in October 2017.

Prior to the Iceland installation, all gravity meters were setup at the gravimetric observatory J9 in Strasbourg for simultaneous side-by-side measurements. The obtained data were used for instrumental calibration, comparison of noise levels and tidal analysis. For determination of the iGrav drift behaviour, we included the measurements of the observatory gravity meter iOSG023 as a reference. During transport from Strasbourg to the geothermal site in Iceland, the superconducting gravity meters were kept at their 4K operating temperature. Using this method, we avoided the time-consuming cool-down process of the iGravs, as well as the generation of their initial drift rates.

In Theistareykir, three of our measuring sites are set up close to the geothermal production and injection wells. The fourth site is located outside the geothermal field, to provide reference measurements that are unaffected by the activities of the power plant. At each site additional physical parameters, which influence the local gravity signal, are measured. This includes the continuous monitoring of GPS-positions, rainfall, soil moisture and snow thickness. Moreover, snow weight and snow water equivalent are measured at the site close to the production wells.

Here, we present the results of the unique intercomparison of three superconducting gravity meters and two gPhones at Strasbourg and the initial time series obtained at the geothermal site in Iceland. A preliminary interpretation of the gravity variations with regard to the geothermal activities and the hydro-meteorological dynamics is given.

GT-1.03

Local seismicity recorded at the geothermal field of Los Humeros (Mexico)

E. Gaucher¹, T. A. Toledo Zambrano²

¹Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Institute of Applied Geosciences - Geothermal Research, Karlsruhe, ²Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ), Section 6.2 Geothermal Energy Systems, Potsdam

Extensive passive seismic monitoring was carried out between Sep. 17 and Sep. 18 over the exploited geothermal field of Los Humeros (Mexico). This acquisition operation was conducted in the frame of the European H2020 project GEMex among other geophysical campaigns, but also geochemical and geological surveys. Seismic monitoring provided numerous data, whose processing is still on-going, to better characterize the underground structures and properties of the geothermal field. These results participate to the increase of our understanding of the local geothermal system. They can be utilized to propose new development areas, especially, in the northern part of the currently exploited zone, which shows $T > 380^{\circ}\text{C}$ at ca. 2 km depth.

For one year, a network of 45 short- and long-period seismometers was deployed in the surrounding of the Los Humeros geothermal field. The network layout was chosen to comply with several types of passive seismic processing methods: induced and natural seismicity characterization, travel-time tomography, ambient noise tomography, etc. We present here the results associated with the recorded seismicity. Besides several natural earthquakes in the region, local earthquakes were regularly detected, leading to an original database of about 500 events. Most of them were clustered around specific well doublets, at a depth between 1 and 3.5 km, consistent with the reservoir interval.

Geothermie/Radiometrie // Poster

GT-P.01

Comparison of hydraulic properties of rocks determined by different methods

L. Schepp^{1,2}, J. Renner²

¹Hochschule Bochum, Bochum, ²Ruhr-Universität Bochum, Bochum

A rock is characterized by two hydraulic properties, the ease with which fluids can flow through it and the ability to store liquids. Part of the fluid injected into a saturated rock is transported through the connected pore space following the prevailing pore-pressure gradient; part of the fluid is stored because of its compressibility and that of the pore space. Thus, to describe the complete hydraulic behavior of a material, it is necessary to determine the transport property, e.g., permeability, as well as the storage property, e.g., specific storage capacity. Hydraulic characteristics have been determined in laboratory tests for more than 50 years. Since the development of the oscillatory methods, it is possible to determine permeability and storage capacity reliably in a single experiment. We used a radial oscillatory pore-flow method in addition to the previously presented

axial pore-pressure and pore-flow methods. All oscillatory methods are based on the fact that the amplitude ratio and the phase shift between harmonic pressure signal and pressure or flow signal measured at two points on a sample can be inverted to the hydraulic parameters. With the different oscillatory methods, a portfolio of methods for the determination of hydraulic properties in laboratory tests is now available whose employment in combination with systematic variations of the oscillation period provides an exceptional potential for improving the understanding of the relation between microstructure and hydraulic properties. The studied rock types, Berea sandstone, Wilkeson sandstone, and Westerly granite, cover a range in connected porosity from < 1 to 18 % and represent pore spaces from granular to micro-fracture dominated. The validity of the oscillatory methods was assessed by comparison their results with those of Darcy tests and with physical limits.

GT-P.02

Korrektur des Feuchteinflusses bei aeroradiometrischen Messungen

M. Ibs-von Seht, H. Petersen, B. Siemon

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover

In der Aeroradiometrie wird die Verbreitung der in den obersten Bodenschichten natürlich vorkommenden Radionuklide (Kalium, Uran, Thorium) von einer fliegenden Plattform (Flugzeug, Hubschrauber, Drohne) aus gammaspektrometrisch vermessen. Neben der Exploration mineralischer Rohstoffe wird die Methode zunehmend für bodenkundliche Themen eingesetzt.

Erschwerend für eine quantitative Bestimmung der Radionuklidgehalte wirken Bodenfeuchteverhältnisse, die sich während einer Messkampagne z. B. durch Regenereignisse signifikant ändern. Das Wasser im oberflächennahen Boden verringert die Intensität der aufgezeichneten Strahlung und damit die berechneten Gehalte. Durch eine statistische Auswertung von Kontrollprofilen (Kreuzungspunkt-Statistik) können von der Strahlungsenergie abhängige Korrekturfaktoren ermittelt werden, die den dämpfenden Einfluss der Bodenfeuchte kompensieren. Dieses seit langem als „Tieline-Levelling“ bekannte und vorwiegend in der Aeromagnetik angewendete Verfahren liefert in der Aeroradiometrie allerdings häufig unrealistische Werte. Die Ursache liegt in der oft ungenügenden Statistik der Eingangsparameter. Dadurch entstehen Faktoren, die nicht im Einklang mit den Prinzipien der energieabhängigen Dämpfung radioaktiver Strahlung stehen.

Es wird ein neues Verfahren vorgestellt, welches ebenfalls Korrekturfaktoren auf Grundlage der Kreuzungspunkt-Statistik bestimmt. Die Intensitätsverhältnisse werden hier jedoch zunächst in ein physikalisches Modell überführt, in welchem die Bodenfeuchte durch eine Wasserschicht variabler Dicke über dem trockenen Boden repräsentiert ist. Aus der ermittelten mittleren Wasserschichtdicke werden dann jeweils energieabhängige Korrekturfaktoren bestimmt, die im Einklang mit der energieabhängigen Dämpfung stehen. Im Gegensatz zu der herkömmlichen, rein statistisch arbeitenden Methode erhält man mit dem neuen Verfahren wesentlich realistischere und stabilere Korrekturfaktoren. Die Anwendung des Verfahrens wird anhand einer durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) durchgeführten aeroradiometrischen Vermessung in Aznalcollar (Spanien) vorgeführt.

GT-P.03

Dolines at 3 km depth – a possible target for geothermal energy?

A. Sell¹, H. Bunes², D. Tanner², J. Ziesch², A. Weller¹

¹Technische Universität Clausthal, Institut für Geophysik, Clausthal-Zellerfeld,

²Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, LIAG, Hannover

To supply the city of Munich with geothermal energy, 3D seismic data acquisition was carried out in 2015/2016 within the city. The Upper Jurassic Malm carbonate, situated in approximately 3 km depth, is the target for geothermal exploration. While investigating the area, apparent beehive-like doline structures were found within the carbonates. These structures become especially apparent when using a 3D variance cube on the seismic dataset to display them as 3D bodies. Their vertical extent is up to 500 m, while their diameter increases from top to bottom with values up to 750 m. These very large structures are connected to faults. However, other dolines are not bound to fault structures.

FD-seismic modelling was carried out to understand whether these structures are a true representation of the subsurface conditions or if they are artefacts of the seismic data. A total of fifteen models were created, with increasing complexity, to approach the true subsurface conditions. We used the exploding reflector approach and various migration algorithms to reproduce the prestack-depth migrated survey data. The results show that strong diffractions occur at the edges of the doline that interfere with the reflections of deeper reflectors. Regardless of the migration algorithm used (even depth migration using the correct velocity model) these interferences could not be separated and distortions remain that were previously interpreted as the true extent of the dolines. Other results include that the form of the dolines resemble most likely a bowl-shaped structure rather than a trapeze shape, and that the velocities are reduced inside and/or directly beneath the dolines, causing a down-bending of deeper reflectors. The results confirm that dolines in the Malm carbonates represents a promising target for geothermal energy extraction.

GT-P.04

Abbildung einer Vererzungszone im Umfeld störungsgebundener granitischer Geothermiereservoirs durch 3D-Seismik

S. Görne¹, E. Lüschen², H. von Hartmann², H. Bunes², A. Hiller³

¹Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, ²Leibniz Institut für Angewandte Geophysik, Hannover, ³Wismut GmbH, Chemnitz

Im Rahmen des Projektes „Geothermie im Granit Sachsens - Vorprojekt“ (GIGS-VP) werden die administrativen und wissenschaftlichen Grundlagen für das Abteufen einer 4,5 km tiefen Forschungsbohrung zur Einschätzung störungsgebundener petrothermaler Reservoirs erarbeitet. Dazu wird, unter anderem auf der Basis von 2012 durchgeführten 3D-seismischen Messungen (SIKS-Projekt), ein detailliertes geologisches 3D-Modell der Region Schneeberg/Bad Schlema im Erzgebirge erstellt. Ziel der bohrtechnischen Erschließung ist die Durchörterung und Charakterisierung der Störung „Roter Kamm“ innerhalb variszischer Granite. Diese werden bis in ca. 1.200 m Tiefe von teilweise kontaktmetamorph überprägten Phylliten und Quarzitschiefern überlagert. Bis ca. 2 km Tiefe ist der Verlauf der Granitoberfläche durch Bohrungen und

bergmännische Aufschlüsse detailliert zu verfolgen. Um ein bestmögliches geologisches Modell auch in der Zielteufe zu erhalten, wurden die 3D-Vibroseis-Daten herangezogen. Für die Tiefendarstellung wurde hierbei das Geschwindigkeitsmodell der seismischen Datenbearbeitung verwendet.

Die in die 3D-Modellierungssoftware (SKUA-GOCAD) übertragenen Seismik-Daten wurden zur geologischen Interpretation zunächst mit Bohrungsdaten und bergmännischen Aufschluss-Informationen verschnitten. Die im östlichen Teil des Untersuchungsgebietes gelegene Erzlagerstätte ist durch Archivunterlagen der Wismut GmbH sehr gut dokumentiert. Eine Vielzahl von bergbaulichen Rissen und Schnitten wurde digitalisiert, georeferenziert und lagegenau mit dem 3D-Seismik-Cube dargestellt und analysiert.

Dabei zeigte sich eine gute Übereinstimmung der Lage des silurisch-devonischen Schichtpakets (kontaktmetamorphe Diabase, Phyllite) mit einem markanten seismischen Muster und hohen Amplituden-Werten im Bereich dieser Lagerstätte. Dieses charakteristische, 45-50° Nord einfallende Paket wird über den gesamten bergmännisch aufgeschlossenen Tiefenbereich (bis ca. 1.800 m Tiefe) seismisch abgebildet.

Dies erlaubt zum einen den Rückschluss auf ein realistisches Geschwindigkeitsmodell der Tiefenmigration und die Schlussfolgerung, dass auch die im Granit vermuteten Strukturen lagegetreu abgebildet werden. Gleichartige Reflexionen in größeren Tiefenbereichen deuten die Verbreitung von Lithologien mit ähnlichen seismischen Eigenschaften an.

Die auf diesen Grundlagen weitergeführte Interpretation und 3D-Modellierung gestattet eine detaillierte Bohrfadplanung für die geplante GIGS-Forschungsbohrung.

GT-P.05

Multi-frac EGS im σ_3 -Schatten: Bohrfadwinkel (45° statt entlang σ_3), Rückströmung, Reihenfolge – sonst was vergessen?

J. Ghergut, M. Sauter

Georg-August-Universität, Geowissenschaftliches Zentrum, Göttingen

Volumen- bzw. longitudinalstimulationsbasierte EGS-Vorstellungen verwerfend, plädiert JUNG 2013 für die Wiederaufnahme des HDR-Konzepts von Los Alamos, mit entlang σ_3 erzeugter Sequenz künstlicher Risse – unter der nichttrivialen Revidierung: Die aus der Materialwissenschaft vertrauten ‘*wing cracks*’ entstehen bei typischer Granitbehandlung bereits ab $\tau_{\text{excess}} \sim 0.3$ MPa und wachsen in kaum-vorgeklüftetem Gestein (oder aber über die Ränder natürlicher Zerrüttungszonen hinaus, innerhalb welcher sie vielmehr kleinskalig die Konnektivität erhöhen) zu erheblicher Länge; die somit verkomplizierte Multirissgeometrie macht ihr mikroseismisches Abbilden, und das Bohrfaddesign für die benötigte 2. Bohrung zur ‘Millimeterfrage’.

ZEEB und KONIETZKY 2015 warnen vor weiterem Problem: Beugung nachfolgender im durch zuvor geschaffene Risse gedrehten Spannungsfeld; zur Verringerung dieses sog. σ_3 -Schattens empfehlen sie ein um 45° gedrehtes Bohrfad (statt entlang σ_3).

Sonst denkbar wäre eine von den Enden zur Mitte hin abwechselnde *fracking*-Reihenfolge, allerdings mit erhöhten Packer-/schleusenkosten – wie sonst bei *shale gas* üblich. Bei solch multirissbasierter Erschließung erweist sich die Charakterisierung des Reservoirs mit *petro-/hydrothermal* als fluidumsatz- bzw. zeitabhängig; mit wachsender

Betriebsdauer verhält es sich zunehmend wie ein (unterdimensioniertes!) **ht** System, dessen Abkühlungsrate volumen- (statt wärmetauschflächen-)kontrolliert wird. Der wertigere, **pt**-geprägte Anteil an der Dienstdauer verkürzt sich auch wg. jener gewollten, spürbare induzierte Seismizität unterbindenden 'Korrektur' am *single-frac* HDR-Design. Das auf **is** beschränkte Augenmerk ließ bislang die **wärmetauschwirksamen**, nicht aus mikroseis. u. hydraul. Monitoring sondern **nur aus Tracertests ermittelbaren Rissapertur u. -fläche(-ndichte)** außer Acht. **Das Poster zeigt neue tracergestützte Ansätze (BMW, FKZ 0325515) zu deren Bestimmung.** Diese verbessert sich zudem durch Zulassen größerer Fluidumsätze nach jeweiliger Rissbildung – was laut ZEEB, KONIETZKY auch den σ_3 -Schatten reduziere. Erst die Tracerauswertung zeigt, ob aus angedachtem **pt** ein volles **pt**, ein akzeptables hybrides **pt*ht** oder nur ein kleines **ht** System werden kann; **Weiterbohren/-fracken ohne Tracerinfo gleicht einem Münzwurf.** 'Didaktische', zunächst willkürliche, dann schrittweise durch (Tracer-)Daten untermauerte **pt/ht** Zuordnungen sind, nebst ihren technologischen Voraussetzungen, mit erheblichen wirtschaftlichen Folgen verbunden.

Marine Geophysik // Vorträge

MG-1.01

Polyphase rifting and volcanism around the Jan Mayen Fracture Zone, NE Greenland

D. Franke¹, V. Damm¹, U. Barckhausen¹, K. Berglar¹, A. Dannowski², A. Ehrhardt¹, M. Engels¹, T. Funck³, P. Klitzke¹, A. Madsen⁴, M. Thorwart⁴

¹BGR, Hannover, ²GEOMAR, Kiel, ³Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS), Kopenhagen, Dänemark, ⁴Aarhus University, Aarhus, Dänemark

In 2017, we sailed with the German Research vessel Maria S. Merian along the semi-ice covered NE Greenland margin to study the architecture of the rifted continental margin around the Jan Mayen Fracture Zone. The acquired multichannel seismic data provide a structural image of the sediments and crustal architecture. Acquisition was done using BGR's reflection seismic instrumentation with a 4500-m-long digital solid streamer and a G-airgun array with a total volume of 3100 in³.

Key questions are the distribution of volcanism as manifested in seaward dipping reflectors (SDRs) and the continent-ocean transition. The new data indicate that the NE Greenland margin is broadly segmented into three segments and these have distinct tectono-magmatic styles. This implies a polyphase rift evolution with consecutive magmatic events. Phases of high magma supply and the formation of SDRs alternate with phases of tectonic deformation. SDRs in the central margin segment were the first to be emplaced before volcanic rifting took place in the northern margin segment. Finally, the SDRs in the southern segment were emplaced. Each phase likely overprinted the adjacent, previously rifted areas, resulting in tectonic deformation and local marginal uplift. We propose that this is a robust indication for ongoing extension after initiation of volcanic breakup. Overall, the volumes of SDRs decrease to north and to the south.

MG-1.02

Seismic investigations of the Ligurian Basin

A. Dannowski¹, H. Kopp^{1,2}, I. Grevemeyer¹, D. Lange¹, M. Thorwart², W. Crawford³, G. Caielli⁴, R. de Franco⁴, A. Paul⁵, F. Petersen¹, F. Wolf¹, B. Schramm¹, MSM71 cruise participants, AlpArray Offshore Working Group

¹GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel, Kiel,

²CAU, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel, ³IPGP, Institut de Physique du Globe de Paris, Laboratoire de Géosciences Marines, Paris, France,

⁴IDPA-CNR, Istituto per la dinamica dei processi ambientali, Sezione di Milano, Italy,

⁵ISTerre, Institut des Sciences de la Terre, Université Grenoble, Grenoble, France

The Ligurian Basin is situated at the transition from the western Alpine orogeny to the Apennine system, an area where a change in subduction polarity ('Ligurian Knot') is observed. The Back-arc basin was generated by the southeast trench retreat of the Apennines-Calabrian subduction zone. The opening took place from late Oligocene to Miocene. While the extension led to continental thinning and subsidence, oceanic spreading with unroofing of mantle material was proposed for the late period of opening 21-16 Ma.

To shed light on the present day crustal and lithospheric architecture of the Ligurian Basin, active and passive seismic data have been recorded on ocean bottom seismometers. A seismic long-term network comprising of 29 broad band stations was installed from June 2017 to February 2018 in the framework of SPP2017 4D-MB, the German component of AlpArray. Refraction seismic profiles were shot to serve two aspects: (1) Determine the orientation of the horizontal components of the long-term ocean bottom seismometers and (2) estimate the velocity distribution of the upper lithosphere, to provide a better earth velocity model for the analysis of the passive seismic data.

Good quality data have been recorded, regional and teleseismic events could be detected by stations of the network. Active shots have been recorded by all stations on the seafloor during shooting. The majority of the refraction seismic data show mantle phases at offsets up to 70 km. The crust mantle boundary in the central basin is observed at ~9 km depth below seafloor. The mantle shows rather high velocities > 7.8 km/s.

MG-1.03

Southeastern Arctic Ocean, seismic reflection images of cruise ark2018

E. Weigelt¹, K. Berglar², C. Gaedicke², W. Jokat¹, R. Stein¹, and the PS115.2 Science Party

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

²Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

In autumn 2018 a multichannel seismic reflection survey was performed in the southeastern part of the Amundsen Basin, on the Lomonosov Ridge and its transition to the Siberian Shelf. We present the new data, and a first glance at the findings, with the aim to enhance insights into the tectonic evolution, sedimentation history, and paleoceanography of the southeastern Arctic Ocean.

Lines on the Lomonosov Ridge confirm the presence of 1600 m thick, undisturbed, parallel sedimentary layers. A prominent high-amplitude-reflector sequence within the strata can be used to directly correlate to previous seismostratigraphic models. A major aim of the expedition was the acquisition of cross lines relative to previous surveys covering the location of the upcoming IODP-377 project.

A 300 km long transect across the Amundsen Basin images a 3 km thick sedimentary sequence covering a rough acoustic basement. The high-amplitude-reflector sequence can also be traced in the basin, indicating widespread changes in tectonic and deposition conditions in the eastern Arctic Ocean. The crustal surface shows strong deformation, especially in the western part of the Basin, which can be associated with a re-organisation of tectonic plates accompanied by a significant decrease in spreading rates. A seamount, likely of a magmatic origin, was observed rising from the crust and penetrating all sedimentary layers. Dredge-sampling on an outcrop at the western slope of the rise reveal a cover of consolidated sand- and siltstones.

Lines across the transition from the Lomonosov Ridge to the Laptev Sea Shelf image a more than 2 km thick sedimentary sequence overlying a rugged and faulted acoustic basement. At first glance, no indications of a larger transform fault can be detected, which could elucidate the tectonic relation between the ridge and the shelf. Several large mass wasting events or debris flows are indicated in the strata. An erosional channel with a sediment drift on its southern edge may provide clues to ocean current development.

MG-1.04

Unique data to reveal North Greenland's Palaeogene margin evolution – Geophysical data acquired during Polarstern cruise PS115.1

V. Damm¹, K. Berglar¹, A. Ehrhardt¹, D. Franke¹, T. Funck², W. Geissler³, S. Ladage¹, R. Lutz¹

¹BGR, Hannover, ²GEUS, Copenhagen, Dänemark, ³AWI, Bremerhaven

North Greenland's continental margin is sparsely explored because of the almost permanent sea ice cover. Nevertheless, RV Polarstern cruise PS115.1 was allocated to conduct marine geophysical investigations and geological sampling along the northern and northeastern Greenland shelf.

Against all expectations, outstanding ice conditions along the northern coast of Greenland enabled us to carry out reflection seismic surveys north of 84°N at the southern tip of Morris Jesup Rise with a 3 km long streamer. Thus for the first time ever high quality multi-channel seismic data is on hand for this generally inaccessible area. The complex plate tectonic history of Greenland, especially at the transition from the Palaeocene to the Eocene, should have a particular expression in this area. Coincident seafloor-spreading in the Labrador Sea and Baffin Bay as well as in the North-Atlantic from magnetic chron C24 onwards took place. This coincides with a northward movement of Greenland with respect to Eurasia for the same period. The northward motion of Greenland in the Palaeogene resulted in compression affecting the region of northern Greenland and Svalbard about 50 Ma. Later in the Oligocene, seafloor spreading in the Eurasia basin propagated southwards and initiated extension separating the Yermak Plateau and Morris Jesup Rise, perpendicular to this compression direction. It is still enigmatical, to which extend compression and extension along the

North Greenland margin were acting simultaneously and how they affected the margin and sedimentary basins. In the above setting the Morris Jesup Plateau and Yermak Plateau play key roles. Both plateaus once likely formed a contiguous plateau, but their crustal nature is still debated.

Over the time of the cruise a total of 2500 km of reflection seismic profiles and 100 km of refraction seismic profile (using nine ocean bottom seismometers) were measured, accompanied by gravity and magnetic surveys and seven heat flow measurement stations. Along the shelf and deep-sea area 21 geological sampling sites were chosen, with all together one dredge (around 200 kg of sample), 16 gravity cores (total core length 65 m), 12 box corers and 6 multi-corer stations.

Onshore sediment sampling was done at 11 sampling sites. Beside sediment sampling hard rock from near coastal outcrops was collected using the ship's helicopter in a total amount of 250 kg that will be used for age dating.

Marine Geophysik // Poster

MG-P.01

Seismic Image Matching: Automated Traveltime and Static Corrections of High-Resolution Marine Seismic Data

S. Reiche¹, B. Berkels², B. Weiß³

¹RWTH Aachen University, Institute for Applied Geophysics and Geothermal Energy, Aachen, ²RWTH Aachen University, AICES, Aachen,

³Universität Bremen, Fachbereich Geowissenschaften, Bremen

Seismic reflection imaging is a principle method in exploration geophysics, widely used for subsurface investigation. During seismic data acquisition, each subsurface point is usually imaged multiple times. Such redundancy is used in seismic signal processing to extract stacking velocities and to create a seismic stack. Conventional velocity analysis is based on testing a range of velocities that parametrize hyperbolic traveltime curves and a best-fit hyperbola is sought that maximizes coherence. However, determination of stacking velocities is a time-consuming process and the assumption of hyperbolic traveltime curves is not accurate in many situations.

Here, we use an alternative way of velocity analysis and stacking, fully automated and independent of any prior assumptions regarding the shape of seismic travel time curves. This technique is based on ideas from non-rigid image matching. Mathematically, our stacking operator is based on a variational approach that transforms a set of seismic traces into a common reference frame. Based on the normalized cross correlation and regularized by penalizing irregular displacements, time shifts are sought for each sample to minimize the discrepancy between a zero-offset trace and traces with larger offsets. Time shifts are subsequently exported as a data attribute and can easily be converted into stacking velocities.

We test our approach on synthetic data sets of varying complexity and finally on a real data case. High-resolution field data were acquired in the Baltic Sea for offshore windfarm development. Owing to the regular passage of approx. 1.5 m high ocean waves during data acquisition, these high-frequency boomer data significantly suffer

from static effects related to sea-level variations. Being independent of any pre-defined travelttime curve, seismic image matching was able to perform automated moveout and static corrections. Stacked sections were compared to those derived by manual velocity analysis and subsequent static corrections. Results show that image matching produces stacks of equal quality to conventionally derived ones, revealing the potential of this technique to automatize and significantly speedup this first part of the seismic processing chain.

MG-P.02

Shallow Gas accumulations and active Pockmarks in the İzmir Gulf, Aegean sea

M. Senoz

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

The Izmir Gulf and surrounding areas are located within an important geothermal area of Turkey in the Aegean region (western Anatolia). The region represents a natural laboratory where multi-disciplinary approaches in Earth sciences find a venue for the study of the dynamics of the coupled lithosphere-fault system. Many seismological studies are being carried out to investigate the origin and the nature of the Earth structure. In this framework, many gas related structures have been identified. Multi sonar and shallow marine reflection method have been used since 2000. Some from this methods are high-resolution chirp seismic, multibeam bathymetry and side scan sonar, sub bottom profiler and other shallow marine seismic reflection data collecting systems like, air gun, sparker, boomer etc. It was so possible to showing many gas-related structures and this structures could be classified into three categories (1) shallow gas accumulations and gas chimneys, (2) mud diapirs, (3) active and inactive pockmarks. On the chirp profiles, shallow gas accumulations were observed along the northern coastline of the outer İzmir Gulf at 3–20 m below the seabed. They appear as acoustic turbidity zones and are interpreted as biogenic gas accumulations produced in organic-rich highstand fan sediments from the Gediz River. The diapiric structures are interpreted as shale or mud diapirs formed under lateral compression due to regional counter-clockwise rotation of Anatolian microplate. Furthermore, the sedimentary structure at the flanks suggests a continuous upward movement of the diapirs. Another chirp survey data which collected just over these plumes showing that the gas seeps were still active. The surveys indicate that the gas seep is an ongoing process in the gulf. Based on the chirp data, it was proposed that the over pockmark formation in the area can be explained by protracted seep model, whereby sediment erosion and re-distribution along pockmark walls result from ongoing (or long lasting) seepage of fluids long periods of time. The existence of inactive pockmarks in the vicinity, however, implies that gas seepage may eventually cease or that it is periodic. Most of the active pockmarks are located over the fault planes, likely indicating that the gas seepage is controlled by active faulting

MG-P.03

Ionian Abyssal Plain: A window into the Tethys oceanic lithosphere

A. Dannowski¹, H. Kopp^{1,2}, F. Klingelhofer³, D. Klaeschen¹, M.-A. Gutscher⁴, A. Krabbenhoft¹, D. Dellong^{3,4}, M. Rovere⁵, D. Graindorge⁴, C. Papenberg¹, I. Klaucke¹

¹GEOMAR, Kiel, ²Universität Kiel, Kiel, ³Ifremer, Brest, France, ⁴IUEM, Université Brest, CNRS, Plouzané, France, ⁵National Research Council, ISMAR-CNR, Bologna, Italy

The nature of the Ionian Sea crust has been the subject of scientific debate for more than 30 years, mainly because seismic imaging of the deep crust and upper mantle of the Ionian Abyssal Plain (IAP) has not been conclusive to date. The IAP is sandwiched between the Calabrian and Hellenic subduction zones in the central Mediterranean. To unequivocally confirm the proposed oceanic nature of the IAP crust, RV Meteor cruise M111 in 2014 targeted the crustal and lithospheric structure of the Ionian Abyssal Plain in a joint French-German project. Along the NE-SW oriented 131 km long seismic refraction and wide-angle reflection profile DY-05, data were acquired using four ocean bottom seismometers and four ocean bottom hydrophones. The aim of this work is to provide information on the seismic velocity distribution and the structure of the crust to confirm the nature of the crust in the IAP.

A P-wave velocity model was developed using a travel time forward modelling approach that was refined using synthetic modelling of the seismic data. In addition, gravimetric modelling validates these findings. A roughly 6 km thick crust with velocities ranging from 5.1 km/s to 7.2 km/s, top to bottom, can be traced throughout the IAP. In the vicinity of the Medina Seamounts at the southern IAP boundary, the crust thickens to about 9 km and seismic velocities decrease to 6.8 km/s at the crust-mantle boundary. We interpret the layer above the crystalline basement, earlier interpreted as layer 2a, as a unit of fast sediments, possibly carbonates. The seismic velocity distribution and depth of the crust-mantle boundary in the IAP document its oceanic nature, and support the interpretation of the IAP as a remnant of the Tethys oceanic lithosphere.

MG-P.04

Formation and Rifting of backarc crust in the Lau Basin

First results of a recent seismic experiment

F. Schmid¹, A. Dannowski¹, H. Kopp^{1,2}, F. Petersen¹, M. Schnabel³, U. von Barckhausen³, B. Schramm¹, M. Riedel¹, A. Beniest⁴, P. Brandl¹, M. Weber⁵, M. Hannington¹, SO267 Shipboard Scientific Party

¹GEOMAR - Helmholtz Zentrum für Ozeanforschung, Kiel, ²Christian-Albrechts-Universität, Institut für Geophysik, Kiel, ³BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, ⁴Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdam, Niederlande, ⁵GFZ - Helmholtz Zentrum Potsdam, Deutsches Geoforschungszentrum, Potsdam

Several aspects of the formation and rifting of crust in backarc environments, like the Lau Basin in the SW Pacific, are still under question. A major unresolved question is, at what stage in the structural and thermal evolution of arc rifting does magmatism begin? The Fonualei Rift and Spreading Centre in Northeastern Lau Basin separates the Tonga

Volcanic Arc from the Lau Backarc Basin and shows a strong gradient in the opening rate from South to North. The rift represents an ideal study site to investigate the formation and rifting of backarc crust at different stages of its tectonic and magmatic evolution. During the multidisciplinary cruise SO267 of RV Sonne (project ARCHIMEDES I), which sailed from Dec. 11, 2018 to Jan. 26, 2019, coincident seismic refraction and reflection profiles were acquired to image the deep crustal structure covering different sections of the Fonualei Rift and Spreading Centre. A total of 50 OBS from the GEOMAR pool were available for the refraction lines. Instruments were spaced at an average distance of 6 km and recorded arrivals from up to 120 km offset. Seismic phases show little to no sediment cover on the seabed. Clear mantle arrivals (PmP and Pn) were recorded by the majority of stations and will allow the assessment of crustal thickness and upper mantle velocities. Additional geophysical data included gravity, magnetics and high-resolution bathymetry as well as Parasound and heatflow data, which were acquired along all profiles and will contribute to the tectonic interpretation of this complex region that is characterized by a number of microplates, active and abandoned spreading centres and transfer zones. This contribution will present an overview of the major scientific questions driving the ARCHIMEDES I project and present first results from the acquired seismic profiles, which aim to reveal the crustal architecture and the opening history of the Lau Basin.

MG-P.05

Seismic Processing Strategy and Crustal Structure of the April 1, 2014 Mw 8.2 Rupture Area Offshore Northern Chile from Seismic Reflection Data

B. Ma¹, D. Klaeschen¹, H. Kopp^{1,2}, A. Trehu³

¹Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel, Kiel, ²Kiel University, Kiel,

³Oregon State University, Corvallis, United States of America

The northern Chilean margin has long been recognized as an erosive margin, which has been active since the Jurassic. Although erosive margins account for more than half of all the convergent margins, much of the early research of subduction zone dynamics focused on accretionary margins, while models for erosional margins have only developed in the past 15 years. Subduction erosion, indeed, occurs at all convergent plate boundaries, even along accretionary margins. At predominantly erosive margins, material from the overriding plate is removed and the trench slope is steepening and retreating to the magmatic arc. Along the Chilean trench system, material transfer changes from accretionary south of the Juan Fernandez Ridge (~33°S) to erosive in the north offshore Antofagasta (~23°S) and Iquique (~22°S).

Because of its rich earthquake history and the systematic spatial variation in geologic factors that potentially affect megathrust rupture, the Chile subduction zone is arguably one of the best places on Earth to understand the effect of crustal structure and megathrust geometry on the behavior of continent-ocean subduction plate boundaries. On April 1, 2014 a magnitude Mw 8.2 earthquake ruptured the marine forearc offshore Iquique and Pisagua between 18.5°S to 21°S, covering an area spanning about 20% of the region previously referred to as a seismic gap. This event did not compensate the entire slip deficit and hence the continuous potential for a large rupture makes a close investigation of the fault slip zone timely.

In 2016 RV Marcus G. Langseth set out to acquire deep-penetrating, high-resolution

seismic data in the 2014 rupture area during cruise MGL1610 under the framework of the PICTURES (Pisagua-Iquique Crustal Tomography to Understand the Earthquake Source) project. A grid of seismic reflection and refraction profiles was acquired to document the geologic structure of the upper and lower plates and the rheological properties of the boundary zone between them. Here we present first results from processing line MC25, which is located in the southern part of the 2014 rupture area. Several processing techniques are introduced with the aim to increase the signal/noise ratio. Focusing on the multiples, we utilize enhanced multiple suppression techniques, e.g., surface-related multiple prediction, anomalous amplitude noise attenuation, adaptive filter and multichannel dip filter with the aim to improve the imaging quality at greater depth.

MG-P.06

The role of free gas in a subaqueous landslide setting – insights from 3D modelling and seismic interpretation

M. Wiebe¹, F. Gross², S. Krastel², M. Daszinnies³, J. Mountjoy⁴, K. Huhn¹

¹MARUM, Bremen, ²Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel, ³Migris AS, Trondheim, Norway, ⁴NIWA - National Institute of Water and Atmospheric Research, Wellington, New Zealand

Subaqueous landslides pose a global threat to coastal and submarine infrastructure, as well as human life. One factor influencing slope stability is the presence of free gas. This could trigger subaqueous landslides in a two-stage process: (1) Gas migrates along stratigraphic layers and accumulates at permeability interfaces where it builds up pore overpressure. (2) The amount of generated overpressure suffices to reduce sediment shear strength enough to initiate failure. This conceptual model, however, has yet to be numerically tested in a realistic landslide setting.

We use 3D finite element modelling to study gas migration and accumulation, and compare the results with seismic interpretation. This allows us to address: (1) Where does gas accumulate depending on slope stratigraphy? (2) What are the spatial dimensions of gas traps? (3) How do permeability interfaces and gas source volume control gas accumulations?

The Tuaheni landslide complex offshore New Zealand is an ideal case study for such a modelling approach, as comprehensive data is available. This includes sediment cores and heat flow measurements as input for model parameters, as well as high-resolution 3D seismic data. The latter gives information about the slope stratigraphy as input for the model geometry. Seismic analysis also indicates occurrences of gas hydrate in the central to distal parts of the landslide, which could provide a source of free gas.

Furthermore, high seismic amplitudes are interpreted to show locations of free gas accumulations, which are used for comparison with model results. Recent reactivation has been proposed for this landslide, meaning it enables in situ investigation of the influence of free gas on slope stability in geological real-time.

Modelling results show that gas accumulates locally in morphological traps along permeability interfaces. The modelled gas column heights amount to several metres and are controlled by permeability, trap morphology, and injected gas volume. Both modelling and seismic interpretation suggest that free gas accumulations occur in the proximal to central parts of the landslide upslope of the gas hydrate stability zone, and cover localised rather than wide-spread areas.

MG-P.07

Reflection Tomography with Residual Move Out Correction of Common Image Gather by Non-Ridged Matching Displacement Vector Estimation: A case Study of Multi-Channel Seismic Lines Offshore Java

Y. Xia¹, D. Klaeschen¹, H. Kopp^{1,2}, M. Schnabel³

¹GEOMAR - Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel, Kiel,

²Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel,

³Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

Seismic reflection tomography is one method to update a preliminary velocity model for depth imaging. By residual move-out analysis of reflectors in depth migrated image gathers and the local reflector dip, an update of the velocity is estimated by a ray-based tomography. This is an iterative process spanning depth migration with updated velocity model, common image point (CIP) gather analysis, reflector dip estimation, tomography and velocity update.

To stabilize the tomography, several preconditioning strategies exist (e.g. top-to-bottom, short offset to long offset, predefined depth weights). All these parameters are part of the tomography algorithm and reproducible. Most critical is the estimation of the residual move out, to account for the depth of the reflector in the CIP offset-gathers. Because many closely spaced image gathers must be picked, manual picking is extremely time consuming and not reproducible. Automatic picking algorithms exist also for non hyperbolic events but the filtering and smoothing of discrete picks is difficult. To overcome these shortcomings, the Non-Ridged Matching (NRM) method was used to estimate a move-out displacement vector. NRM is used e.g. to merge photographic images, or to match two seismic images from time-lapse data. By applying the vector estimation only between neighboring traces from near to far offsets for each CIP-gather, a non-hyperbolic displacement gather is estimated for each data sample. This move-out field gather can be filtered and smoothed with standard seismic processing methods. To discretize the full move out field to individual picks needed for the tomography, predefined horizons or a simple regular grid can be used depending on the complexity of the subsurface structure.

The application to a multichannel seismic line offshore Java across a subduction zone will illustrate the method and the advantages of the NRM method to estimate a detailed velocity structure in a complex tectonic regime.

MG-P.08

Structure and evolution of the Jan Mayen Microcontinent

A. Dannowski¹, M. Schnabel², U. Barckhausen², D. Franke², M. Thorwart³, T. Funck⁴, M. Engels², C. Berndt¹

¹GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel, Kiel, ²BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, ³CAU, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, ⁴Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS), Copenhagen, Dänemark

The Jan Mayen Ridge (JMR) is a ~150 km long and 10-30 km wide seafloor expression in N-S direction in the centre of the North Atlantic and part of the Jan Mayen

Microcontinent (JMMC). Previous studies show, that the eastern flank of the JMR was formed during the breakup of the Norway Basin along today's Aegir Ridge, prior to magnetic anomaly C23, ~ 50 Ma. The western margin of the JMMC is conjugate to East Greenland. Rifting gradually propagated northward, likely from chron C21, ~46 Ma onward. Fan-shaped magnetic anomalies in the Norway Basin suggest that the JMMC must have rotated counter-clockwise. The JMR is likely underlain by continental crust. Volcanic flows have been observed within the sediments in the Jan Mayen Basin (JMB). While a relatively uniform upper crust was observed throughout the JMMC, the thickness of the lower continental crust varies significantly from up to 15 km below the JMR down to almost zero thickness towards the western part of the JMB. However, the character of the lower crust and the development of the conjugate East Greenland – JMMC margins during Oligocene are still disputed.

Here, we investigate the crustal structure of the JMMC using a new 265 km long seismic refraction line crossing the JMMC at 69.7° in E-W direction was acquired on board of RV Maria S. Merian during cruise MSM67. The profile consists of 30 ocean bottom seismometers (OBS) with a spacing of 9.5 km. The dataset was complemented by on-board gravity measurements and a magnetometer array towed behind the vessel during shooting. The line extends from oceanic crust in the Norway Basin, across the microcontinent and into oceanic crust that formed at the presently active mid-oceanic Kolbeinsey Ridge.

The magnetic profile shows old seafloor spreading anomalies in the east (likely Anomaly 24, ~52 Ma), then low amplitude magnetic anomalies in the central portion of the profile, which are typical for many plutonic continental rocks. On the western part of the profile, high amplitude anomalies of younger oceanic crust (likely Anomalies C5C trough C6, ~19-16 Ma) occur abruptly near the western termination of the JMB. The seismic velocity distribution and crustal thickness vary strongly along the profile, with typical velocity gradients for oceanic crust at the profile ends and a thickened crust (12 - 13 km) underneath the Jan Mayen Ridge. This suggests that the crust of the JMMC is of thinned continental type and the JMMC at this latitude has a width of 100 km.

MG-P.09

Seafloor ages of the Central and Northern Lau Basin from magnetic data

U. Barckhausen¹, I. Heyde¹, H. Kopp², M. Hannington²

¹BGR, Hannover, ²Geomar, Kiel

The Lau Basin is a young backarc basin in the SW Pacific. It formed in the last 5 to 6 Million years in a setting behind the Tonga subduction zone which is characterized by the subduction of old oceanic crust and is assumed to be of erosive type. The opening of the backarc basin was accompanied by a complicated pattern of seafloor spreading, crustal extension, and volcanism, which results in an equally complicated pattern of magnetic anomalies.

During the recent research cruise SO-267 ARCHIMEDES, more than 2000 km of magnetic data were acquired with state-of-the-art towed magnetometers in the Central and Northern Lau Basin along six long geophysical survey lines and additional profiles

during bathymetric seafloor mapping. These data complement existing older magnetic data from various sources which were reprocessed and compiled into one homogenous data set.

Earlier research had shown already that over large parts of the Lau Basin no clear pattern of magnetic seafloor spreading lineations can be found. However, in the newly compiled dataset we find sections of profiles and in some cases even complete profiles which can be correlated with magnetic seafloor spreading anomalies from a forward model in an age range from 0 to ~5.2 m.y. With these tie points it is possible to correlate magnetic anomalies across profiles even where the magnetic record has been heavily overprinted by crustal rifting and later volcanism. It turns out, that in the Central Lau Basin in addition to the known Central Lau Spreading Center a southward propagating spreading center was active at the eastern side of the basin just behind the volcanic arc until recent times. At this spreading axis, much of the present crust of the Central Lau Basin was formed likely in a highly asymmetric fashion with crustal accretion almost entirely on its western flank. We speculate that the volcanic arc moved in western direction over time in response to the erosion of the upper plate at the subduction zone and shut down this spreading in relatively recent times. Since then, a new spreading system has formed at the Fonualai Rift which is propagating on southern direction.

MG-P.10

Imaging the 3D seismic velocity structure of the Scanner pockmark, central North Sea

B. Schramm¹, C. Berndt¹, A. Dannowski¹, G. Bayrakci², T. Minshull², C. Böttner¹

¹GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research, Kiel,

²National Oceanography Centre, Southampton, United Kingdom

Carbon dioxide capture and storage (CCS) has proven to be an important mitigation strategy to reduce CO₂ emission and combat the increase of potential greenhouse gases in our atmosphere. However, natural fluid migration structures such as pipes and chimneys close to possible deposits are potential leakage pathways for CO₂. The detailed structure and the physical properties of these fluid migration structures are poorly understood and may be highly variable. Here, we present a detailed 3D seismic refraction tomography of the pipe structure beneath a large pockmark in the central North Sea (Scanner Pockmark) using high resolution ocean bottom seismometer data. Our results show that the seismic velocities below the pockmark are about 200 m/s slower than to the surrounding strata. The zone of low seismic velocities extends from the seafloor down to at least 600 m depth below the seafloor. This broadly coincides with a seismic amplitude anomaly observed in 3D reflection seismic data although the velocity anomaly covers a wider area. Based on the velocity reduction we propose that the pipe structure represents a network of open fractures that may be partially filled with gas. The observations suggest that the Scanner pockmark was formed by fluid and gas emission through a deep-seated pipe structure that is still an open pathway for fluid advection.

SM-1.01

Charakterisierung von glazialen Sedimenten in übertieften Alpenen Tälern mit P- und S-Wellen

T. Burschil¹, H. Buness¹, D. Tanner¹, G. Gabriel¹

¹Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, LIAG, Hannover

Eine Charakterisierung der Sedimentfüllung in übertieften Alpenen Tälern wurde bisher erfolgreich mittels P-Wellenseismik durchgeführt. Das Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) untersucht das Potential der S-Wellenseismik und den Einsatz von Multikomponenten zur Vorbereitung eines Projekts des International Continental Scientific Drilling Programms (ICDP). Dafür wurden zwei Untersuchungsgebiete ausgewählt: (1) das Tannwald Becken, ein distales Randbecken des Rheingletschers und (2) das Lienzer Becken, ein inneralpines Becken am Zusammenfluss großer Gletscher während der Vereisungen.

An beiden Lokationen wurden mehrere Profile mit horizontal polarisierter Quelle (4 m Quellabstand) und Geophonen (Landstreamer, 1 m Abstand) registriert. Zusätzlich wurden auf einzelnen Profilen mit 6-Komponenten, d.h. mit 2 zueinander orthogonalen, horizontalen Quellrichtungen (4 m Quellabstand) und 3-Komponenten Geophonen (gesteckt, 2 m Abstand) aufgenommen, um unterschiedlich polarisierte S-Wellen aufzuzeichnen. Eine etwa 100x100 m² große Fläche wurde ebenfalls mit dieser Konfiguration registriert (3 m inline/9 m crossline Abstand). Als Quellen wurden sowohl hydraulische als auch elektrodynamische Vibratoren (MHV4S bzw. ELVIS-7 des LIAG) verwendet. Die elektrodynamischen Vibratoren erreichten dabei Eindringtiefen bis zur Beckenbasis in ~250 m Tiefe.

Die Abbildungsqualität der S-Wellenprofile im Tannwald Becken war sehr variabel und wechselte kleinräumig. Teilweise konnte insbesondere der oberflächennahe Bereich zwischen 5 und 20 m Tiefe hervorragend abgebildet werden. Im Processing unumgänglich waren (1) eine zeit- und raumvariante Skalierung zur Verstärkung oberflächennaher Reflexionen, (2) eine f-k Filterung zur Unterdrückung von Oberflächenwellen und (3) ein spektraler Ausgleich zur Auflösungserhöhung. Die Analyse der SH-Wellen ergab, dass ein Offset von 60 m ausreichend war; dies ermutigte uns, ein 3D-Experiment mit 6-K Registrierung durchzuführen. Ein zweites 3D-Experiment mit P-Wellen auf derselben Fläche dient als Referenz. Eine Rotation der S-Wellendaten vor der Stapelung verbessert die Abbildungsqualität und fokussiert die Energie auf den radialen und transversalen Komponenten, die den SV- und SH-Domains entsprechen. Die Reflektivität auf den anderen (gemischten) Komponenten zeigt eine Wellenkonversion an.

SM-1.02

How to distinguish reflections from the Alpine Fault and from glacial valley structures - 3D seismics in the Whataroa valley (New Zealand)

V. Lay¹, S. Buske¹, S. B. Bodenbun¹, J. Townend², R. Kellett³, M. Savage², D. Schmitt⁴, A. Constantinou⁵, J. Eccles⁶, D. Lawton⁷, K. Hall⁷, M. Bertram⁷, A. Gorman⁸

¹TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg,

²Victoria University Wellington, Wellington, New Zealand, ³GNS Science, Lower Hutt, New Zealand, ⁴Perdue University, Perdue, United States of America, ⁵Schlumberger, Clamart, France, ⁶University of Auckland, Auckland, New Zealand, ⁷University of Calgary, Calgary, Canada, ⁸University 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 processing and interpretation of 2D and 3D reflection seismic data is a key step.

The 2D seismic reflection data set reveals the main Alpine Fault reflector at a depth of 1.5-2.2 km with a dip of approximately 50° to the southeast below the DFDP-2 borehole. However, there are indications of more complex 3D structures within that data set that cannot sufficiently be explained by a 2D processing approach.

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.

From these data we derived a detailed 3D velocity model by first-arrival traveltimes tomography that reveals the significance of the old glacial valley structures. The glacial sedimentary infill has lower P-wave velocities (~2300 m/s) in comparison to the basement (~4200 m/s). Interestingly, the high P-wave velocities associated with the basement are found at very shallow depths in the West indicating a steep valley flank.

Within the dense 3D seismic data set, single reflection events are identified on both inline and crossline profiles so that the spatial origin of reflections can easily be identified. Seismic images obtained by prestack depth migration show reflectors that correlate with the steeply dipping valley flanks as well as with previous studies and recent findings from the drilling.

Hence, the 3D seismic data improves both the P-wave velocity model and the seismic images. The glacial valley structures and the respective reflections can correctly be located which will help to obtain an image of the Alpine Fault zone at depth. 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-1.03

Implementation of the Cash-Karp Method in Seismic Ray Tracing

A. Röser, S. A. Shapiro

Freie Universität Berlin, Berlin

Seismic ray tracing is one of the most popular modeling techniques for earthquake localization as well as velocity model and moment tensor inversion. In support of that research, we have developed a new ray tracing approach with adaptive step size control as an alternative to ray tracing algorithms with constant step size. Our approach is based on the implementation of the Cash-Karp method (RKCK), which in contrast to the classic fourth-order Runge-Kutta method provides higher computational efficiency and better user-friendliness for both kinematic and dynamic ray tracing in arbitrarily complex three-dimensional inhomogeneous anisotropic media.

Standard ray tracing software requires users to have a priori knowledge about the spatial and temporal behavior of ray trajectories for a given medium in order to define a suitable constant step size. Said step size is supposed to allow rays to propagate accurately through strongly inhomogeneous parts of the medium but prevents them from moving efficiently through rather homogeneous parts. RKCK helps to overcome these limitations and has been studied intensively in numerical mathematics but hardly used in seismic ray tracing. It belongs to the family of embedded Runge-Kutta methods, which combine two Runge-Kutta methods of neighboring orders and yield local truncation error estimates as input for an automatic step rejection criterion. The adaptive step size control updates the step size to an optimal new step size for the next time step or a repetition of the rejected current time step. The desired accuracy of ray trajectories is confined by user-provided truncation error tolerances for each time step. For strongly inhomogeneous anisotropic media, location error tolerances in the order of 10^{-5} m to 10^{-6} m produce negligible global travel time errors.

Applications of our new algorithm to ray tracing of P-, SH- and SV-waves in typical microseismic settings show a significantly improved computation time. We therefore strongly recommend the integration of the Cash-Karp method and adaptive step size control into seismic ray tracing software.

SM-1.04

Definition von Schutzzadien um seismologische Messeinrichtungen bei der Errichtung von Windkraftanlagen

N. Lerbs¹, H. Flores-Estrella², M. Korn¹

¹Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie, Leipzig,

²Technische Universität Berlin, Institut für Angewandte Geowissenschaften, Berlin

Im Zuge der Energiewende und der damit verbundenen Stromerzeugung durch erneuerbare Energiequellen ist die Zahl der Windkraftanlagen (WKA) und Windparks (WP) in den letzten Jahren deutlich gestiegen. Da WKAs durch die Eigenschwingung des Turmes und die sich bewegenden Rotorblätter Schwingungen erzeugen, die sich als elastische Wellen im Boden ausbreiten und diese von seismischen Stationen registriert werden, beeinflussen sie die Datenqualität dieser Stationen.

Ziel des Projekts ist die Charakterisierung seismischer Signale, die durch einzeln stehende WKAs emittiert werden, um Schutzradien um seismologische Stationen definieren zu können. Hierfür wurden einzeln stehende WKAs mit einem Mindestabstand von zwei Kilometer zu Autobahnen und anderen WKAs gewählt, die zudem eine Mindestleistung von 0.5 MW haben. Hierbei wird das Amplituden-Abklingverhalten mit der Entfernung in Abhängigkeit der Geologie, Topographie und Dämpfung sowie der Amplituden-Anregungskoeffizient verschiedener WKAs in Abhängigkeit WKA spezifischer Daten (Leistung, Nabenhöhe, Rotordurchmesser, etc.) sowie in Abhängigkeit der Windstärke gemessen. Des Weiteren werden Modellrechnungen zum synthetischen Abklingverhalten der Amplituden mit der Entfernung durchgeführt.

Erste Ergebnisse zeigen eindeutig den WKA zuzuordnende Frequenzpeaks zwischen 1-10 Hz, deren Amplituden in Abhängigkeit der Windstärke stehen. Zudem konnte anhand einer Polarisationsanalyse die WKA als Quelllokation der Signale identifiziert werden. Das modellierte Amplituden-Abklingverhalten zeigt eine starke Abhängigkeit bezüglich der Dämpfung sowie eine Dominanz von Oberflächenwellen. Mit Hilfe der an unterschiedlichen WKA-Typen aufgenommenen Daten sowie der für verschiedene Untergrundklassen erstellten Modellrechnungen sollen schlussendlich Schutzradien um seismologische Stationen für ein maximal tolerierbares Effektivrauschen definiert werden.

SM-2.01

Detecting Earthquakes Below South African Gold Mines Using Event Template Matching

M. Voigt

Freie Universität Berlin, Geologische Wissenschaften, Berlin

Searching for and mining valuable minerals has been one of mankind's oldest professions. In recent years, exploitation of natural resources has led to a more frequent triggering of earthquakes due to this process. For the magnitude ML 5.5 earthquake in Orkney, South Africa, that occurred below the Moab Khotsong Gold Mine on August 5th 2014 it is still unclear whether it was triggered by the mining activity or if it was caused by tectonic forcing. Two seismic networks are set up in the region of the mine: One surface network set up by the Council of Geoscience (CGS) of South Africa and the second in the mines by the Institute of Mine Seismology. Since the in-mine network has already been analysed, the CGS network was looked into for comparison. The CGS supplied a catalog with about 900 events from which 432 were used as templates. The template matching method using continuous waveforms is based on Kummerow's approach (2010). This method was preformed with ObsPy (Beyreuther, 2010) and resulted in an updated event catalog with 1621 events; 1189 more than the original template catalog, hence improving the number of aftershocks by about 275%. Statistical analysis like temporal and spatial distribution, hierarchal clustering, the Gutenberg-Richter and Omori-Utsu laws were applied to both catalogs and the results were compared. The updated event catalog allowed to show more detail when analysing statistical properties, particularly, the temporal distribution of events.

SM-2.02

Automatisches, Semiautomatisches und Manuelles Prozessing mit der Software SeismoSuite am Beispiel von Seismischen Ereignissen im Bereich der Bergbaufolgelandschaft Lausitz

D. Blumrich, T. Schicht

K-UTEC AG Salt Technologies, Sondershausen

Die geophysikalische Abteilung der K-UTEC AG Salt Technologies plant, designt, installiert und betreibt seismische Überwachungsanlagen in Bergbauregionen in ganz Europa.

Natürliche und induzierte Seismizität in Bergbauregionen rückt z. B. durch spürbare Ereignisse für die Bevölkerung oder Geländeeinbrüche immer mehr in den öffentlichen Fokus. Die Seismizität ist allerdings auch für den Bergwerksbetreiber ein sicherheitsrelevanter Hinweis für den Betrieb. Mittels seismischer Überwachungsnetzte, welche sowohl Untertage, Übertage als auch kombiniert errichtet werden können, werden diese Ereignisse lokalisiert. Dabei zeigen besonders gefährdete Bereiche eine räumliche und zeitliche Clusterung an seismischen Ereignissen, was eine möglichst genaue Lokalisierung für die Gefährdungseinschätzung unabdingbar macht. Zum Handling der Hardwareseite der Überwachungsanlage ist deshalb eine angepasste Softwarelösung notwendig. Zur effektiven Lokalisierung seismischer Ereignisse mit zeitgleich größtmöglicher Kontrolle durch den Nutzer wurde deshalb das Computerprogramm SeismoSuite entwickelt.

SeismoSuite bietet die Möglichkeit der automatischen, semiautomatischen und manuellen Lokalisierung von Ereignissen durch händisches Picken der Einsatzzeiten oder das automatische Picken durch einen kombinierten STA/LTA und Amplitudenschwellwert Algorithmus. Der eigentliche Prozess der Lokalisierung läuft standartmäßig automatisch nach einem Optimierungsalgorithmus ab, bietet dem Nutzer aber im Anschluss die Möglichkeit zum manuellen Eingriff. Abschließend kann die Magnitude des Ereignisses berechnet und der Herd in einer Karte dargestellt werden.

Vor allem für mikroseismische Ereignisse, welche typischerweise ein schlechteres Signal-/Rausch Verhältnis zeigen, stellt das automatische Picken von Einsatzzeiten und damit die automatische Lokalisierung eine große Herausforderung dar. Die Arbeitsweise und Effektivität des Programms wird an Beispielen aus der Bergbaufolgelandschaft Lausitz vorgestellt und aktuelle Problemstellungen verdeutlicht. Zur Verbesserung der automatischen Picks und Lokalisierungen werden aktuelle und zukünftige Weiterentwicklungen vorgestellt, wie z. B. die Polarisationsanalyse oder Integrierung von 3D Geschwindigkeitsmodelle mit zeiteffektiver Verarbeitung. Somit stellt SeismoSuite eine moderne, effiziente und intuitive Lösung für aktuelle Problemstellungen in Bergbauregionen dar.

SM-2.03

Imaging crustal structures using microearthquakes in the vicinity of the Schlema-Alberoda mine

H. Hassani, F. Hloušek, S. Buske

TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg

The Schlema-Alberoda mining area is located in a seismologically active region and seismicity of this area was comprehensively monitored during the last decades. We have located several microseismic events occurring between 1998 and 2012 in this area by a migration-based localization approach. The dataset contains the records of single-component (vertical) geophones installed on the surface, and a subset of this dataset has been used in this study for imaging crustal structures in the immediate vicinity of the hypocenters.

The imaging procedure is performed by 3-D coherency migration and only P-wave secondary arrivals have been used in this approach. The results are compared to the images obtained from a 3D seismic survey conducted previously in the same area. The macro velocity model used for passive imaging in our study, for 3D active seismic imaging as well as for the location of the seismic events is identical, so that a direct comparison and in particular an interpretation of the spatial location of reflectors and their relation to the hypocenters is possible.

We observe several reflectors in our image which can be seen in the 3D active seismic image, too. However, some structures related to a major fault plane in that area have not been illuminated by the 3D active seismic survey due to their large dip angles, but they clearly appear in our passive image because of the favourable location of the hypocenters at depth with respect to the illumination angles of those structures. In that sense our passive images complement to 3D active seismic image and reveal new structures that have not been imaged previously.

SM-3.01

Analytische Fernfeldapproximation des gestreuten seismischen Wellenfeldes in einem fluidgefüllten Bohrloch

M. Linke¹, T. Geerits², O. Hellwig¹, S. Buske¹

¹TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg,

²Baker Hughes, a GE Company, Celle

Bei der Kohlenwasserstoffexploration stellt die hochauflösende Erkundung der geologischen Struktur im unmittelbaren Umfeld einer aktiven Bohrung eine große Herausforderung dar. Heutzutage wird versucht, bohrlochakustische Logging-While-Drilling-Verfahren (LWD) zur Lösung dieser Aufgabenstellung einzusetzen, da sie es erlauben, die Bohrlochumgebung während des Bohrvorgangs ohne Zeitverlust zu untersuchen. Ein weit verbreitetes Mittel zur Entwicklung einer solchen Technologie sind computergestützte Simulationen des seismischen Wellenfeldes. Analytische Lösungen sind herkömmlichen numerischen Approximationsverfahren wie z.B. der Finite-Differenzen-Methode im Hinblick auf den notwendigen Rechenaufwand und

ihre Rechenzeiten deutlich überlegen, da sie sich auf einfache Modellgeometrien beschränken und praktisch auswertbare Formulierungen liefern. Das vorliegende Bohrlochproblem beschränkt sich im Wesentlichen auf zylindrische Geometrien mit einem ebenen Reflektor, sodass eine analytische Lösung in Betracht gezogen wurde. Die von uns erarbeitete analytische Lösung basiert auf einer Fernfeldapproximation des reflektierten seismischen Wellenfeldes angeregt durch die für akustische Bohrlochmessungen üblichen Moden wie z.B. Monopol, Dipol oder Quadrupol. Das am Reflektor gestreute Wellenfeld wird mittels Bornscher Näherung erster Ordnung berechnet und im fluidgefüllten Bohrloch vorerst als Druck ausgegeben. Die Darstellung des Ergebnisses erfolgt wahlweise als Receiver-Stack, bei dem alle azimutalen Empfänger aufsummiert werden, oder als separate Spuren jedes einzelnen Empfängers. Die Simulation einer in Bohrlochrichtung fortschreitenden LWD-Messung wird ebenfalls betrachtet. Hier zeigt sich ein weiterer Vorteil der analytischen Lösung, da ein Großteil der zur Berechnung notwendigen Variablen gespeichert und für nachfolgende Sender-Empfänger-Positionen erneut genutzt werden kann. Neben einer Einführung in die Theorie der von uns erarbeiteten analytischen Fernfeldapproximation vergleichen wir erste Ergebnisse des gestreuten Wellenfeldes in einem fluidgefüllten Bohrloch mit der Lösung einer 3D Finite-Differenzen-Software für unterschiedliche Anregungsmoden, Quellfrequenzen und Reflektorneigungen. Dieser Vergleich offenbart neben einer guten Übereinstimmung der seismischen Wellenformen jedoch auch bislang noch ungelöste Probleme wie z.B. einen konstanten Skalierungsfaktor zwischen analytischer und Finite-Differenzen-Lösung.

SM-3.02

2D elastic full-waveform inversion of land seismic data with topographic variations

D. Krieger, T. Steinweg, T. Bohlen

KIT, Geophysikalisches Institut, Karlsruhe

Areas with strong topography and complex subsurface geology like the Canadian foothills are of interest for exploration geophysics. They pose particular processing and imaging challenges, though. In order to create under these circumstance subsurface images with high resolution, sophisticated methods such as full-waveform inversion (FWI) have to be applied. FWI is, in principle, capable of producing highly detailed parameter models of the subsurface by iteratively updating a starting model to match both traveltimes and amplitudes of simulated data with data recorded in the field. When using land data, in particular when strong surface waves are observed that lead in combination with topographic variations to significant surface wave scattering effects, elastic wave propagation has to be considered. Previous works studying wavefield modelling in areas with topographic variations mainly used the spectral element method (SEM) because of its intrinsic ability to meet the free surface condition in case of a non-planar top surface. In this work, however, we use finite differences (FD) paired with the improved vacuum formulation that fully satisfies the free-surface boundary condition and allows for accurate modelling of surface waves. The FD method has the advantage that it is widely used and much simpler than SEM. We show that the staircase effect has a major influence on Rayleigh waves but not on body waves. This influence can be reduced by choosing a discretization which is much finer than that needed for

body waves. However even without such fine discretization our approach is able to simulate wavefields with sufficient accuracy for FWI applications. We perform simultaneous reconstruction of P-wave velocity, S-wave velocity and density using synthetic data simulated with SEM. We demonstrate, that errors in our scheme result only in a thin high velocity layer below the topographic surface of the P-wave velocity model. Furthermore we investigate the impact of strong 3D effects, like they occur in mountainous regions, on 2D FWI.

SM-3.03

Ein 2D SH Full Waveform Inversion Ansatz zur Analyse der internen Struktur eines Seedeichs

D. Köhn¹, D. Wilken¹, T. Meier¹, T. Steinkraus¹, D. Schulte-Kortnack¹, D. De Nil¹, R. Kirsch², W. Rabbel¹

¹Christian-Albrechts-Universität, Institut für Geowissenschaften (Abt. Geophysik), Kiel, ²GEOimpulse, Kiel

Der Anstieg des Meeresspiegels sowie eine Zunahme und Verstärkung von Sturmfluten im Zusammenhang mit dem Klimawandel erfordern nicht-invasive Verfahren zur Abschätzung des Zustands von Küstenschutzbauwerken wie Deichen. Ein vielversprechendes geophysikalisches Verfahren zur hochauflösenden Abbildung der internen Struktur von Deichen ist die seismische Full Waveform Inversion (FWI). Durch Einbeziehung des vollständigen gemessenen seismischen Wellenfeldes in ein nichtlineares Optimierungsverfahren kann die Verteilung elastischer Materialparameter im Untergrund mit einer Auflösung bestimmt werden, die im Idealfall deutlich kleiner als die Wellenlänge ist.

In dieser Studie wenden wir eine FWI auf SH-Daten an, welche entlang von Profilen auf einem Seedeich in Norddeutschland gemessen wurden. Eine grobe Analyse der Ersteinsatzlaufzeiten gefolgt von einer SH-FWI zeigt deutliche Unterschiede in der Deichstruktur auf der Land- und Seeseite. Während über die gesamte Länge des Deichquerschnitts eine Niedriggeschwindigkeitsschicht in den oberen 1.5 m vorhanden ist, sind die mittleren S-Wellengeschwindigkeiten auf der Landseite um ca. 30 m/s höher als auf der Seeseite. Ein ähnlicher Trend zeigt sich in den abgeleiteten Qs-Werten, welche im Mittel bei Qs = 50 auf der Landseite und Qs = 20 auf der Seeseite liegen. Die großräumige oberflächennahe Struktur des Deichs ist lokal durch Niedriggeschwindigkeitszonen gestört. Diese können mit Klei assoziiert sein, aber auch auf räumliche Variationen der Wassersättigung innerhalb des Deiches hindeuten. Für größere Teufen zeigen die FWI Ergebnisse horizontale Schichten mit hohen S-Wellengeschwindigkeiten an der Deichbasis, welche mit in Bohrungen angetroffenen Sandschichten korrelieren.

Wir bedanken uns beim Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein für die Bohrlochdaten zur Bewertung der seismischen FWI Ergebnisse. Die FWI wurde im Rahmen des ANGUS-II Projekts (www.angus2.de) gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Förderkennzeichen 03ET6122A) durchgeführt.

SM-3.04

Velocity-model building with 3D p-cable data

M. Glöckner¹, D. Gajewski¹, C. Berndt², D. Kläschen²

¹Universität Hamburg, Institut für Geophysik, Hamburg,

²GEOMAR Helmholtz-Zentrum, Kiel

Short offsets and high resolution are characteristic of 3D p-cable data. Furthermore, an insufficient offset-to-target ratio often does not allow velocity-model building with conventional methods. Diffractions can be a solution for this issue because processing of zero-offset data is possible. Therefore, we present a diffraction-based model building for 3D p-cable data. First step is to properly separate diffractions and reflections. This can be done, e.g., with a simple slope filter or a plane-wave destruction. A multiparameter stacking operator allows us to stack the diffraction-only data in midpoint direction due to very short offsets a reliable stack in offset direction is not advisable. In addition, we obtain the kinematic wavefield attributes and the coherence section. These parameters serve as input for the wavefront tomography. In the beginning, the automatic picker scans every sample in the coherence section and saves values above a user-defined threshold, as well as for the kinematic wavefield attributes. The least-square inversion process uses these picks and compares it with the original data to find the best depth-velocity model by minimizing the misfit. A depth migration is performed to validate the velocity model. This method is applied to a 3D p-cable data set recorded in the Bismarck Sea.

SM-4.01

Wavefront tomography with enforced diffraction focusing

A. Bauer¹, B. Schwarz², L. Diekmann¹, D. Gajewski¹

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

Wavefront tomography is an efficient and stable tool for the generation of smooth velocity models. As input it requires first and second-order attributes, which describe slope and curvature of the measured wavefronts. These wavefront attributes can be extracted from the data by multi-parameter stacking schemes such as the common-reflection-surface (CRS) stack. While the slopes are very stable and relatively easy to determine, the wavefront curvatures can become unstable in the case of sparsely-sampled data or lateral heterogeneity. Since wavefront tomography is mainly driven by the misfit of modeled and measured wavefront curvatures, curvatures of bad quality may compromise its convergence. A possible solution to overcome this problem are diffractions, which have a unique property that can be exploited for better constraining the inversion: all measurements belonging to the same diffraction are connected to the same subsurface region, although registered at different positions on the recording surface. In recent work, we introduced an event-tagging scheme that assigns a unique tag to each diffraction in the data. We propose to use this information to constrain the inversion by enforcing all diffracted measurements with the same tag to focus in depth, thus overcoming the sole dependency of wavefront tomography on second-order attributes. Results for diffraction-only data with vertical and lateral heterogeneity confirm that it is possible to obtain depth velocity models for zero-offset data without using curvature information and that the suggested approach may help to increase the stability of wavefront tomography in complex settings.

SM-4.02

Charakterisierung einer Störungszone östlich des Großen Plöner Sees (Schleswig-Holstein) mittels 2D SH Full Waveform Inversion

D. Köhn¹, M. Thorwart¹, D. De Nil¹, W. Rabbel¹, F. Sirocko²

¹Christian-Albrechts-Universität, Institut für Geowissenschaften (Abt. Geophysik), Kiel, ²Johannes Gutenberg-Universität, Institut für Geowissenschaften, Mainz

Die Anwendung einer seismischen Full Waveform Inversion (FWI) auf landseismische Daten stellt eine große Herausforderung dar. Besonders problematisch sind dabei die starke Dispersion von amplitudenstarken Oberflächenwellen, Einflüsse starker, schwierig zu modellierender Oberflächentopographie, kohärente Noisequellen, sowie eine variable Ankopplung von Quellen und Empfängern.

Ein Teilziel des ANGUS-II Projekts ist die Untersuchung der Anwendbarkeit einer seismischen SH-FWI zur Charakterisierung einer Störungszone östlich des Großen Plöner Sees in Schleswig-Holstein. Eine an der Oberfläche deutlich sichtbare Abbruchkante und signifikante lokale Absenkung deuten auf eine tektonisch aktive Struktur hin. In der hier präsentierten Studie liegt der Schwerpunkt auf der FWI von drei sich kreuzenden SH-Profilen in der unmittelbaren Umgebung der Abbruchkante, die im Rahmen von zwei umfangreicheren Messkampagnen der CAU Kiel im Jahr 2017/2018 gemessen wurden.

Startmodelle für die FWI wurden über eine Ersteinsatztomographie bestimmt. Um den Einfluss des visko-elastischen Untergrundes auf die Dispersion der Oberflächenwelle zu berücksichtigen, wurde ein homogenes $Q_s=30$ Halbraummodell angenommen und während der FWI nicht verändert. Bei der simultanen Inversion nach Scherwellengeschwindigkeitsmodell und der Dichte war eine möglichst exakte Berechnung der inversen Hesse-Matrix erforderlich, um Trade-Offs zwischen den Parameterklassen zu minimieren. Wir verwendeten dazu eine präkonditionierte quasi-Newton l-bfgs Optimierung. Die Modellglattheit wurde durch einen lokalen, anisotropen Gauss-Filter garantiert. Ein komplexer FWI-Workflow bestehend aus einer Kombination von Tief-/Bandpassfiltern, sowie Zeit- und Offsetfenstern reduzierte die Nichtlinearität des Inversionsproblems.

Die unabhängige FWI der drei seismischen SH-Profilen enthüllt komplexe, heterogene, gescherte und verworfene Untergrundstrukturen in unmittelbarer Nähe der Abbruchkante. Trotz der Heterogenität des Untergrundes und der vereinfachten 2D Vorwärtsmodellierung finden sich an den Schnittstellen der Profile ähnliche Strukturen. Im Bereich der Abbruchkante lassen sich nach SW einfallende Schichten identifizieren. Eine Verlängerung der Abbruchkante auf die seismischen Profile korreliert mit Niedriggeschwindigkeitsanomalien in den V_s -Modellen.

Das Projekt ANGUS-II wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Förderkennzeichen 03ET6122A).

SM-4.03

Advanced seismic depth imaging workflow for characterizing mineral deposits (Blötberget, Sweden)

L. Bräunig¹, S. Buske¹, A. Malehmir², E. Bäckström³, M. Schön³, P. Marsden³

¹TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg,
²Uppsala University, Uppsala, Sweden, ³Nordic Iron Ore AB, Danderyd, Sweden

The Smart Exploration project comprises the development of cost-effective and environmentally friendly methods for geophysical mineral exploration in order to make critical mineral resources available to the European Union. Different methods are tested at several exploration sites in order to improve the depth resolution for mineral deposits. We aim to characterize the subsurface and enable delineation of an iron oxide deposit in high-resolution at depth. In order to fulfill this objective, we set up and test an advanced seismic depth imaging workflow to unravel features within a hardrock geological environment.

Hardrock environment is typically characterized by steeply dipping structures, strong effects of the overburden on the seismic wavefield and a low signal-to-noise ratio due to scattering effects. Therefore, seismic depth imaging workflows require a migration velocity model that compensates for the effects of the variations within the near-surface-materials on the seismic wavefield and that maps the reflectors at its true position in the depth domain. Since conventional velocity model building tools where the moveout of the reflection hyperbola is utilized cannot easily be adapted to hardrock seismic data, we focus on a migration velocity model building workflow, where the near-surface velocity model is built by first-arrival traveltimes tomography and extended to greater depths, thereby assuring the robustness of the model for the usage within the subsequent depth migration. To reveal a precise image of a series of iron-oxide deposits at depth, focusing seismic imaging techniques are applied to the data, which are proven to successfully sharpen the seismic image by limiting the smearing of the amplitudes along the migration operator to a physically plausible range. Additionally, we tested another approach called Reflection Image Spectroscopy (RIS), which has not been applied to seismic mineral exploration data sets until this study. We investigated the influence of scattering in the overburden on the image of the deep reflectors. As a result, we obtained wavelength-specific structures, like faults crossing the mineralization, as well as the internal structure of the deposits.

The legacy dataset is from the Blötberget iron-oxide mining area in Ludvika, central Sweden, which was acquired in 2016. Results of our work will directly improve the geological model in the depth domain and can de-risk drilling operations as well future exploration at the site.

SM-4.04

Neural network supported interpretation of seismic attributes

J. Walda, S. Dell, D. Gajewski

Universität Hamburg, Institut für Geophysik, Hamburg

Since the last few years, neural networks developed rapidly due to increasing computing facilities and a strong open source culture of leading companies like Google and Facebook, developing powerful APIs available for the general public.

In this work, we aim to support the complex interpretation of several seismic attributes in migrated 3D data with the help of aforementioned neural networks. This enables us to simplify interpretation of large 3D volumes. In order to achieve that, we use the Tensorflow API to implement the U-Net neural network, which was build for biomedical imaging and apply it to a set of different seismic attributes, e.g. sweetness, dip, azimuth and instantaneous phase simultaneously without prior ground truth picking. This means, we do not require to interpret part of the data manually to train a neural network. Instead we classify in an unsupervised fashion.

In a first step of our approach, we use the U-Net as an auto-encoder to find a latent space representation of the data, which can be decoded to reconstruct the image. That means we reduce the data by a series of convolutions and try to reconstruct our data with a series of reverse convolutions. A perfect reconstruction allows us to assume, we found a latent space representation that describes our data entirely. In the second step, we substitute the decoder, which reconstructs the data, by a k-means classifier. We keep the encoder of the previously trained U-Net model and train the classifier using the latent space representation as input. The result of the k-means classifier is a 3D volume which has a fixed number of labels. Finally, we just need to interpret the found colour coded labels to estimate faults, horizons and salt.

In the resulting labeled volume, we can identify specific labels which solely contain reflections and faults. Though unsupervised approaches are still faced by a number of challenges, first results on a marine 3D dataset offshore Netherlands show promising results. With some adjustments, the labeled volume might improve and accelerate interpretation of large 3D datasets.

SM-4.05

Anisotropic Kirchhoff pre-stack depth migration at the COSC-1 borehole, central Sweden

H. Simon¹, S. Buske¹, P. Hedin², C. Juhlin³, F. Krauß⁴, R. Giese⁴

¹TU Bergakademie Freiberg, Institute of Geophysics and Geoinformatics, Freiberg,

²Geological Survey of Sweden, Department of Mineral Resources, Uppsala, Sweden,

³Uppsala University, Department of Earth Sciences, Uppsala, Sweden, ⁴Helmholtz Centre Potsdam GFZ German Research Centre for Geosciences, Centre for Scientific Drilling, Potsdam

A remarkably well preserved representation of a Palaeozoic orogen is found in the Scandinavian Caledonides, formed by the collision of the 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 structures in central western Sweden comprise far transported allochthonous units, the underlying Precambrian crystalline basement, and a shallow west-dipping décollement that separates the two. These structures are the target of the two approximately 2.5 km deep fully cored scientific boreholes that are part of the project COSC (Collisional Orogeny in the Scandinavian Caledonides). Thus, a continuous 5 km tectonostratigraphic profile through the Caledonian nappes into Baltica's basement will be recovered. The first borehole, COSC-1, was drilled in 2014 and revealed a thick section of the seismically highly reflective Lower Seve Nappe. The Seve Nappe Complex, mainly consisting of felsic gneisses and mafic amphibolites, appears to be highly anisotropic. To allow for

extrapolation of findings from core analysis and downhole logging to the structures around the borehole, several surface and borehole seismic experiments were conducted. Here, we use three long offset surface seismic profiles that are centred on the COSC-1 borehole to image the structures in the vicinity of the borehole. We applied Kirchhoff pre-stack depth migration, taking into account the seismic anisotropy in the Seve Nappe Complex. We calculated Green's functions for a VTI velocity model, which was derived by the analysis of VSP (Vertical Seismic Profile) and surface seismic data. We show, that the anisotropic results are superior to the corresponding isotropic depth migration. The reflections appear significantly more continuous and better focused. The imaging of the long offset profiles provides a link between a high-resolution 3-D data set and a regional scale 2-D seismic profile and complements these data sets, especially in the deeper parts below the borehole. Most of the dominant reflections imaged originate below the bottom of the borehole and are situated within the Precambrian basement or at the transition zones between the Allochthons and the basement. The origin of the deeper reflections remains enigmatic, possibly representing dolerite intrusions or deformation zones of Caledonian or pre-Caledonian age.

Seismik // Poster

SM-P.01

New seismic interpretation of the geothermal field of Geretsried: Evidence of fault decoupling in the southern Bavarian Molasse Basin

V. Shipilin, D. C. Tanner, H. von Hartmann, I. Moeck

Leibniz Institut für Angewandte Geophysik, Hannover

As part of the “Play-Type” project, we evaluate the geological controls on the heat transport systems in a foreland basin setting, based on an example from the southern Bavarian Molasse. We carried out a new structural interpretation of the pre-stack depth migrated 3D seismic volume, acquired approximately 30 km south of Munich at Geretsried. We precisely interpreted the faults using a multiattribute display approach. We then built a 3D geological model to analyze the kinematic evolution of faults. Three generations of faults can be observed in the seismic data from Geretsried; normal faults in the Mesozoic and the earliest Molasse sediments, normal faults in the Tertiary Molasse, and reverse and thrust faults that overprint the Tertiary normal faults. The 3D model shows that the Tertiary faults are decoupled from the faults in the carbonate platform by the Rupelian clayey marls. Nevertheless, these faults approximately strike in the same direction.

We postulate that despite the absence of hard coupling between the faults in the carbonate platform and those in the Tertiary, the former pre-determined the locations of later faults. The fault propagation from the Mesozoic strata up-dip was most probably arrested by the 600 to 900 m thick, mechanically incompetent Rupelian marls, in which displacement was accommodated by ductile deformation. This resulted in zones of mechanical weakening at which faults could initiate in the overlying, more competent Baustein beds. Later contractional deformation was governed by inherited extensional structures; in the northern and central parts of the study area, normal faults were

positively inverted, whereas in the southern part the extensional structures captured the initiation of the thrust faulting.

Geothermal targets exist in the carbonate platform but decoupled tectonics at Geretsried might have a negative effect on the hydraulic conductivity of the faults in the carbonates. They are more likely to be healed due to the prolonged inactivity since Late Eocene times. Moreover, the presence of contractional deformation suggests high maximum horizontal stresses that could seal normal faults in the carbonate platform.

SM-P.02

Geschwindigkeitsstruktur des nordwestlichen Kontinentalhangs von Australien

M. Weske, M. Thorwart, W. Rabbel

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

Ein Fokus des Australian Geological Survey Organisation (AGSO) lag auf der Untersuchung des Browse Basin am nordwestlichen Kontinentalrand von Australien. In diesem Rahmen wurden 1996 und 1997 refraktionsseismische Daten mit Ozean-Boden-Seismometern (OBS) aufgenommen. Die beiden seismischen Linien 119/06 und 128/01 bilden zusammen ein über 540 km langes Profil, welches sich von der Tiefsee über das Browse Basin bis zum Leveque Schelf erstreckt. Die Ergebnisse der ursprünglichen Analyse dieses Profils stehen nicht mehr zur Verfügung. Daher wurde das Profil im Rahmen einer Masterarbeit neu ausgewertet.

Einsätze von direkten, refraktierten und reflektierten Wellen wurden in dem Programm PASTEUP gepickt. Das Geschwindigkeitsmodell des Untergrundes wurde auf zwei Arten bestimmt durch a.) Vorwärtsmodellierung mit dem Programm RAYINVR von Zelt und Smith (1992) und b.) durch Inversion der Ersteinsätze mit dem Tomografie-Code TOMO2D (Korenaga et al. 2000).

Im Westen wird die ozeanische Kruste mit einer Mächtigkeit von bis zu 10 km aufgelöst. Im Bereich des nach Osten hin vertiefenden Browse Basin befinden sich Sedimente mit P-Wellengeschwindigkeiten von 2.5 km/s bis 4.5 km/s oberhalb der kristallinen Kruste. Die Sedimente sind im Osten bis zu 7 km mächtig. Die Grenze zwischen Ober- und Unterkruste befindet sich in 12 km und die Moho in 27 km Tiefe. Zwischen dem Browse Basin und dem Coswell Sub-Basin gibt es Hinweise auf eine Niedriggeschwindigkeitsschicht. Am Rand des Leveque Schelf springt die Oberkante der kristallinen Kruste von 10 km auf 4 km Tiefe und die Moho vertieft sich auf 35 km Tiefe.

SM-P.03

Permeabilitätsabschätzung in Sedimenten durch seismische Bohrlochmessungen

P. Leineweber¹, D. Wilken¹, R. Mecking¹, P. Fischer², L. Obrocki², A. Vött², W. Rabbel¹

¹Christian Albrechts Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel,

²Johannes-Gutenberg-Universität, Institut für Geographie und Geomorphologie, Mainz

Seismische Wellen ändern ihr Verhalten in Bezug auf Dämpfung und Dispersion wenn sich in Sedimenten Permeabilität und Porosität verändern. Ob dieser Effekt es möglich macht, die Permeabilität unterschiedlicher oberflächennaher Sedimentpakete abzuschätzen, ist Fragestellung dieser Studie. Im Frühjahr 2017 fanden im griechischen Olympia gemeinsame Untersuchungen der Universitäten Mainz und Kiel statt. Es wurde ein 70,5 m langes SH-Seismikprofil gemessen, eine 11,5 m tiefe Direct-Pust-Untersuchung durchgeführt, sowie ein hydraulisches Profil zur Bestimmung der K_f -Werte (Versickerungsfähigkeit) mit zusätzlicher VSP-Seismik erstellt und ein Bohrkern genommen.

Das SH-Seismikprofil ist zunächst für eine reflexionsseismische Übersicht genutzt worden. Diese zeigt unter Einbeziehung der Kernansprache einen Reflektor bei ca. 12 m, welcher die Basis der Bohrlochuntersuchungen bildet, sowie in den oberen Metern der grundsätzlich sölilig abgelagerten Schichtung Reflektoren, die von sandigen und grobsandigen Lagen stammen. Auf Basis der VSP-Daten wurde die Permeabilität aus Dämpfung und Dispersion der seismischen Daten für diese oberflächennahen Schichtpakete abgeschätzt.

Es werden hierzu Q-Werte und Dispersionskurven unterschiedlicher Tiefenbereiche mittels Spektrendivisionsmethode und SASW (Spectral Analysis of Surface Waves) bestimmt und der Misfit zu theoretisch berechneten Werten auf Basis verschiedener Permeabilitätswerte nach dem Biot-Stoll Modell bestimmt. Das Minimum der Misfitfunktion liefert so eine Abschätzung der Permeabilität. Die aus den HPT-Daten gemessenen K_f -Werte wurden durch das Darcy-Gesetz in Permeabilitäten umgerechnet und für einen Vergleich mit den aus der Seismik errechneten Permeabilitäten genutzt. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Werte der Seismikmessungen und die der HPT-Messungen innerhalb einer Größenordnung befinden. Hierbei zeigen sandige Lagen einen Permeabilitätswert von ca. $2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ und schluffig/lehmige Lagen einen Wert von ca. $5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$.

SM-P.04

Seismic imaging at a PIER-ICDP fluid-monitoring site in the Eger Rift zone: first results

H. Simon, P. Enkhbaatar, S. Buske

TU Bergakademie Freiberg, Institute of Geophysics and Geoinformatics, Freiberg

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 CO₂ emanations. The epicentres of the earthquake swarms cluster in the northern part of the Cheb Basin. Although the spatial location of the cluster generally coincides with the major Mariánské-Lázně Fault Zone

(MLFZ), the strike of the focal plane indicates that another fault zone plays a significant role for the occurrence of these earthquakes: the N-S trending Počátky-Plesná Zone (PPZ). Isotopic analysis of the CO₂-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 an 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 CO₂ degassing mofette field near Hartoušov. In October 2017, a 6 km long W-E trending profile with dense source and receiver spacing was accomplished, which crosses the proposed drill site and the surface traces of the MLFZ and the PPZ. Up to 1200 sweeps generated by a Vibroseis source were recorded with 312 single-component geophones deployed in two spreads along the profile. To these data we applied a first arrival traveltimes tomography in order to reveal a detailed near-surface velocity model of the investigation area and to derive a macro velocity model needed for the subsequent pre-stack depth migration approaches. The goal for the depth migration is to image structures within and below the Cheb Basin and potential reflectors of the MLFZ and PPZ. Later on during interpretation, 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 CO₂ emanations.

SM-P.05

Seismic exploration of mineral deposits in Northern Finland

S. Buske¹, S. Heinonen², H. Leväniemi², T. Karinen², E. Kozlovskaya³, J. Karjalainen³, H. Jänkäväära³, F. Hlousek¹, T. Jusri¹

¹TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg,

²Geological Survey of Finland, Espoo, Finland, ³University of Oulu, Oulu Mining School, Faculty of Technology, Oulu, Finland

The objectives of the project XSoDEX (eXperiment of SOdankylä Deep Exploration) are to study the structural and lithological framework in the Sodankylä area (Northern Finland), to achieve a better understanding of the mineral system at depth and possibly showing a linkage of the two major mineral deposits of the area.

Within XSoDEX, a combined seismic reflection and refraction survey was performed during July and August 2017 resulting in an approximately 80 km long seismic profile line. 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 10 km.

The processing of the reflection data was performed in a standard pre-processing workflow followed by the application of pre-stack depth imaging methods. A large amount of pronounced and clear reflectors is visible in the resulting seismic images, partly down to depths of 8-9 km.

A velocity model was obtained along the whole profile line by first-arrival traveltimes

tomography from the refraction data down to depths of about 1 km. The resulting models are characterized by relatively high velocities near the surface with only small vertical velocity gradients but partly strong lateral variability in the shallow part. Both can be well explained by the existing geological/lithological model in that area. The obtained results enable an accurate and reliable geological interpretation of the subsurface features and provide a good basis for a 3D geological model including the major mineral systems in the Sodankylä area.

SM-P.06

Subsoil classification for Guadalajara, México: Vs30, soil fundamental periods, 3D structure and profiles, from MASW, ReMi and HVSr

A. Ramírez Gaytan¹, H. Flores Estrella², A. Preciado³, P. Sarnecki⁴, S. Lazcano⁵, M. Korn⁴, L. Alcántara⁶

¹Universidad de Guadalajara, Departamento de Ciencias Computacionales CUCEI, Guadalajara, Mexico, ²TU Berlin, Institut für Angewandte Geowissenschaften, Berlin, ³Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, Guadalajara, Mexico, ⁴Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie, Leipzig, ⁵Suelo Estructura, Guadalajara, Mexico, ⁶Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería, México, Mexico

Guadalajara is the second largest city in Mexico, with around 4.5 million inhabitants; and it is the capital city of Jalisco State. The interaction between the Rivera, the Cocos and the North American Plates causes a high seismic hazard for Guadalajara. It is probably the largest populated city built over pumice soil deposits. Furthermore, the near surface phreatic level causes a high susceptibility to liquefaction phenomena. These features could cause extreme site effects in case of an earthquake occurrence. Due to the fragile inner structure of pumice sands, traditional geotechnical tests are inappropriate to characterize their seismic response. Therefore, in this work we use surface wave analysis methods (MASW and ReMi) applied in 33 sites, to evaluate their seismic response by determining the VS30 (average Vs to a 30 m depth), the fundamental period, the depth to the bedrock, shear velocity and classification. We propose four geotechnical micro-zonation areas for Guadalajara, which we overlapped to the main construction typologies of the city. This should help to define sites where the structural period is close to the fundamental soil period, and consequently resonance phenomena could be present in case of an earthquake. Our results show areas with high damage susceptibility in case of an eventual earthquake.

SM-P.07

Imaging the Erlbach-Fault-Zone (Eastern Germany) using a combined seismic, ERT and gravimetric survey.

L. Sonnabend, A. Lenz, M. Korn

Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie, Leipzig

The Erlbach-Fault-Zone is a predicted tectonic structure in the South-West of Saxony (East Germany). It has been discovered due to a geological survey conducted by the Saxon State Office for the Environment, Agriculture and Geology. During this survey they found several geological indications of a fault zone such as vertical displacement of

geological units. An interesting aspect of the structure is its N-S striking. In contrast the major tectonic features in the region of central Germany have got a distinct NW-SE striking. Furthermore, the Erlbach-Fault-Zone is located in the Leipzig-Regensburg-Zone (LRZ), which it shares the same N-S striking. The LRZ is a 40km wide region of increased seismic activity in eastern Germany. The largest observed earthquakes had magnitudes of ML 3.5, although there are records of historical earthquakes near the city of Gera with estimated magnitudes ML 5. To further investigate the seismological activity of the Erlbach-Fault-Zone, there was a long duration GSSN-survey, which could not prove a definite direction of movement.

Nevertheless, no dedicated geophysical survey was conducted to image the fault zone. In autumn of 2018 the universities of the Leipzig and Jena executed a joint geophysical field exercise south of the village Erlbach to investigate the Erlbach-Fault-Zone. In this part of the fault zone no geological evidences were found to prove the fault, despite a dominant valley. We used a combination of seismic, ERT and gravimetric measurements to investigate the predicted tectonic structure. The profiles on which we took the measurements are up to 1.5km long and orientated perpendicular to the expected strike direction. To interpret the seismic data, we used travel time tomography as well as Pre-Stack-Depth-Migration.

The combination of this different method provides a comprehensive image of the geological situation. We were able to show distinct differences of the geological situation along the profiles, which were former unknown. Furthermore, we detected structures, which seem to be a continuation of the Erlbach-Fault-Zone south of Erlbach. The results from the survey will further be interpreted in context with the LRZ and the local seismicity.

SM-P.08

Auswertung eines 2D seismischen Datensatzes aus dem Niedersächsischen Becken (Wiehengebirge)

G. Ziesche¹, M. Stiller²

¹TU Bergakademie Freiberg, Geophysik, Potsdam, ²Deutsches GeoForschungsZentrum, Potsdam

Im Auftrag des GeoForschungsZentrums wurde 2013 westlich von Minden eine seismische Messung durchgeführt. Sie hatte zum Ziel, mehr über die am Wiehengebirge auslaufenden Sedimentstrukturen des niedersächsischen Beckens zu erfahren. Von besonderem Interesse war es, den Verlauf des in der Region vorkommenden Posidonienschiefers, einem Schwarzschiefer aus dem Unterjura von einer durchschnittlichen Mächtigkeit von 100 m, zu verfolgen.

Das 10 km lange Profil quert das Wiehengebirge und hat einen generellen Nord-Süd-Verlauf. Die Prozessierung umfasste unter anderem das Entfernen von Multiplen mittels prädiktiver Dekonvolution, Noiseunterdrückung durch f-k Filterung und refraktions-sowie residualstatische Korrekturen zur Verbesserung des Stapelergebnisses. Der Erfolg der Bearbeitung zeigt sich darin, dass trotz der teilweise variablen Datenqualität klare Strukturen im Untergrund zu erkennen sind. Deutlich zu erkennen sind die zur Flexur geformten Jura-Kalke des Wiehengebirges und der Übergang von Jura- zu Kreidesedimenten.

SO-1.01

Macroseismic Re-evaluation of the 2004 Rotenburg ML 4.5 Earthquake

N. Gestermann¹, P. Uta², T. Plenefisch¹, C. Brandes², C. Bönnemann¹, D. Kaiser¹, J. Winsemann²

¹Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover,

²Leibniz Universität Hannover, Institut für Geologie, Hannover

The ML 4.5 Rotenburg earthquake of 20 October 2004 is the strongest seismic event instrumentally recorded in the intraplate region of northern Germany. Due to its magnitude and location in the vicinity of the Söhlingen natural gas field, the Rotenburg earthquake is a key event for the assessment of the seismicity and seismic hazard of northern Germany. For a reliable assessment of earthquake causes, a well-constrained hypocenter location and reliable focal mechanism is essential.

In the framework of the DGMK project 806 we performed a new macroseismic analysis using the complete data set of 1060 questionnaires. It was found necessary to include the macroseismic data into the re-evaluation of the Rotenburg event because the epicenter nearest seismic station is in a distance of about 70 km. It was expected that the high number of macroseismic questionnaires in the vicinity of the epicenter could improve the source depth and epicenter estimation.

The macroseismic analysis based on numerical algorithms. To derive intensities, we followed recommendations of Van Noten et al. (2017), and used an adapted template of the “Did you feel it?”-format (DYFI), which is utilized by the United States Geological Survey and the Royal Observatory of Belgium. The questionnaire formats of the BGR and the University of Hamburg had to be harmonized and answers of selected questions were turned into numerical values that correspond to the numerical classification of the DYFI template. For the estimation of the macroseismic epicenter, a grid search algorithm was applied to find the cell with the smallest difference (least square fit) between observations and theoretical intensities. A minimum was found for an epicenter in a distance of about 3.5 km SSW to the instrumentally calculated epicenter. In order to estimate the source depth the epicentral intensity, absorption coefficient and source depth of the theoretical intensity distance relation were varied in certain ranges. The least square fit algorithm was applied and a source depth of 8.5 km shows the best correlation with the macroseismic observations.

An asymmetric distribution of the macroseismic observations was observed. The observations lack almost completely south of the Weser-Aller line, in the northwest and in the east. The most plausible explanation seems to be amplification effects on ground shaking that relate to less consolidated high Cenozoic sediments north of the Weser-Aller line.

SO-1.02

Scandinavian Lithosphere Structure derived from Ambient Noise and Surface Waves

A. Mauerberger¹, H. Sadeghisorkhani², F. Tilmann¹, O. Gudmundsson³, V. Maupin⁴

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum - GFZ, Potsdam,

²Department of Mining Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, Islamic Republic, ³University of Uppsala, Uppsala, Sweden,

⁴CEED, University of Oslo, Oslo, Norway

The western rim of Scandinavia is characterized by the Caledonian mountain range with topography up to 2500 m. Since this region lacks recent compressional tectonic forces, it provides a great opportunity to study the geodynamic evolution of crustal and upper mantle

structures at today's passive continental margins. Together with the ScanArray network we use data from previous and permanent projects, in total more than 200 stations, for a surface wave tomography of the area using both earthquake and ambient noise data.

In previous studies, an unusually thin crust and shallow lithosphere-asthenosphere boundary (LAB) have been found beneath the high-topography of western Norway, where a clear crustal mountain root seems to be absent. The lower topography regions of eastern Norway and Sweden, however, reveal a thicker crust, in contrast to the principles of Airy isostasy. Lower seismic velocities than expected have been found with a sharp transition to higher velocities beneath Sweden.

Beamforming of Rayleigh surface waves yields average phase velocities for all Scandinavia and several of its sub-regions. A remarkable $\cos(1\Theta)$ phase velocity variation with azimuth is estimated for periods >35 s. Since this effect can be seen in northern and southern Scandinavia but not in the central area this might indicate a dipping LAB related to varying topography from North to South. From previous studies it is known that the $\cos(1\Theta)$ feature and the dipping LAB are also seen at the eastern rim of the Appalachians - however mirrored. Both mountain ranges exhibit the same orogeny.

Phase velocity maps were derived with the two plane wave method. Ambient noise were analyzed using a transdimensional MCMC Bayesian inversion.

We use a transdimensional Bayesian method to invert for the VSV structure. The Moho below Northern/Lofoten region is highly undulated but a crustal root of the high topography is not present. The Lofoten peninsula shows very low crustal and lithospheric VSV with a shallow Moho around 20 km at the continental margin. The LAB is deepening from west to east with a sharp kink both in the South (120 km depth) and the North (150 km depth). The LAB in the North is even more undulated and related to a gravity anomaly imaged as high-velocity spot. However, the central area shows rather smooth varying structures from west to east. Additionally, we find evidence for a MLD around 150 km depth beneath the Paleoproterozoic Baltic Shield.

SO-1.03

Interseismic Strain Build-up on the Submarine North Anatolian Fault Offshore Istanbul

D. Lange¹, H. Kopp^{1,2}, J.-Y. Royer³, P. Henry⁴, Z. Çakir⁵, F. Petersen¹, P. Sakic^{6,7}, V. Ballu⁶, J. Bialas¹, S. Ozeren⁵, S. Ergintav⁸, L. Gélif⁹

¹Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel GEOMAR, Kiel, ²University of Kiel, Kiel, ³Laboratoire Géosciences Océan, Université de Brest and CNRS, Plouzané, France, ⁴CEREGE, Aix Marseille Université CNRS IRD and Collège de France, Aix en Provence, France, ⁵Eurasian Institute of Earth Sciences, Istanbul Teknik Üniversitesi, Istanbul, Türkiye, ⁶Laboratoire LIENSs, Université de la Rochelle and CNRS, La Rochelle, France, ⁷GFZ Helmholtz-Zentrum Potsdam, Potsdam, ⁸Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Department of Geodesy, Bogazici University, Istanbul, Türkiye, ⁹Laboratoire Aléas géologiques et Dynamique sédimentaire, UR Géosciences Marines, IFREMER, Institut Carnot EDROME, Plouzané, France

Little is known about the movement of offshore faults because of the absence of direct, underwater geodetic measurements. Furthermore, satellite geodesy techniques such as GPS cannot be applied underwater due to the strong attenuation of electromagnetic signals. However, capturing fault movement is crucial to determine the state of locking which reveals whether the fault is creeping or accumulating displacement. Here we show that horizontal crustal strain on the seafloor can be continuously measured with mm-precision over periods of years and dozens of baselines allowing to resolve tectonic deformation quasi-in-situ on the seafloor. To this effect, we installed an acoustic ranging network across the central segment of the North Anatolian Fault in the Marmara Sea offshore metropolitan Istanbul. The seafloor observation shows that the fault is locked with an upper bound of the local creep rate of 2 mm/a. The absence of any significant fault displacement on the seafloor for 2.5 years together with sparse local seismicity from OBS observation reveal that the fault is currently locked and therefore is accumulating strain. The slip-deficit since the last known rupture in 1766 of at least 4 m is sufficient to trigger an earthquake up to magnitude 7.4. The strain accumulation of the central North Anatolian Fault in the Marmara Sea was previously extrapolated from onshore observations or inferred from the absence of seismicity, but both methods could not distinguish between fully locked or fully creeping fault behaviour. Our study for the first time fills part of this data gap through in-situ seafloor geodetic measurements and demonstrates the urgent need to conduct similar studies in regions affected by a high hazard potential from offshore events.

SO-1.04

Rupture Imaging and Directivity of the 2014 M5.5 Earthquake Below a Gold Mine in Orkney, South Africa

C. Dinske¹, M. Müller¹, M. Voigt¹, J. Kummerow¹, S. Shapiro¹, H. Ogasawara²

¹Freie Universität Berlin, Geophysik, Berlin,

²Ritsumeikan Universität, College of Science and Engineering, Kyoto, Japan

We present a comprehensive study of seismicity from deep South African gold mines. Here, we find the unique situation that the seismicity consists of both mining-induced earthquakes and aftershocks triggered by the M5.5 Orkney earthquake in August 2014.

We hypothesize that the finiteness and geometry of the volume of stress perturbation, either by mining activities or by a main shock, controls the propagation of ruptures and influences the frequency-magnitude distribution. We apply advanced approaches which involve both waveform-based and probabilistic methods. These methods were successfully applied to fluid-induced earthquakes and include rupture propagation imaging and directivity analysis (Folesky et al., 2015, 2016), and studies of the scaling of earthquakes magnitudes (Shapiro et al., 2013). We test the applicability of these approaches to the seismicity in deep South African mines which also occurs in finite volume where the in-situ stress is perturbed. It can contribute to a better understanding of seismogenic processes and, in particular, to an improved assessment of seismic hazard in an active mining environment. Our results indicate a unilateral rupture of the M5.5 main shock propagating nearly from North to South over a distance of about 5-6km. The images of back-projected seismic energy as well as the retrieved source time function reveal a highly complex rupture process of this earthquake which complements other results (Imanishi et al., 2016, Moyer et al., 2017). Furthermore, we see a clear spatial separation between the triggered aftershock cloud and the induced seismicity in the different mining horizons. The aftershock cloud is unilaterally situated in respect to main shock epicenter and aligned to the South which confirms the obtained rupture propagation image and directivity. The magnitude statistics of both aftershocks and induced earthquakes are noticeably affected by the finite size of the perturbed rock volume limiting the occurrence of larger magnitude events. The statistics of the waiting times however differ for the two types of seismicity. The aftershocks clearly show the typical Omori-Utsu behavior (i.e., a strict power-law decay) whereas earthquakes in the mines are observed at a rather constant level of activity emphasizing a Poissonian nature of acausal occurring events.

SO-2.01

Long-term seismicity clusters and the influence of megathrust earthquakes in Central Chile

C. Valenzuela Malebrán^{1, 2}, S. Cesca², S. Ruiz³, L. Passarelli²

¹University of Potsdam, Potsdam, ²GFZ German Research Center for Geosciences, Potsdam, ³Universidad de Chile, Santiago, Chile

Seismicity in Central Chile has been characterized in the last decades by the repeated observation of seismicity of clusters. In some cases seismicity cluster have been discussed as precursors of preceded large earthquakes. However, most clusters at the Chilean subduction margin did not evolve into major seismic activity. We identify two spatial seismicity clusters at latitudes 33-36°S, one offshore the town of Navidad and one inland, close to Vichuquén. Clusters locations are within the Northern part of the rupture area of the 2010 Maule earthquake, and mark the edges of the rupture area of the 2010 Pichilemu earthquake doublet. In this study we characterize and discuss hypocentral locations, spatio-temporal migration, magnitudes and inter-event time distributions and moment tensors of this recurrent activity, hypothesizing the potential physical possible processes responsible for their occurrence. Both clusters are characterized by weak to moderate seismicity and present clear seismicity rate and Benioff strain anomalies, with respect to the surrounding region. The combined analysis of hypocentral location and moment tensor inversion suggest both clusters correspond

to thrust failure at or close to the slab interface. Beside these similarities, the temporal evolution of the clusters reveal important differences suggesting a different origins: at the Navidad cluster the seismicity occurs in form of several short duration seismic swarms episodes, which we interpret as the result of transient processes affecting the slab interface, while at the Vichuquén cluster, seismicity is characterized by a sustained occurrence of repeated events over the considered time period, which we explain by a localized topographic or material anomaly at the slab interface. The analysis of these two seismic clusters for a period of 18 years allow to identify their presence well before the preparation phase of the 2010 Maule earthquake, which rupture terminated in this region, and to date. While the long term observation of the seismicity anomalies suggest their physical origin, the occurrence of the large Maule earthquake shows an important impact in modulating the temporal evolution of the cluster over years. In the 2008 year preceding the Maule earthquake, seismicity appear strongly reduced, revealing a quiescence period. After the Maule Earthquake, cluster seismicity is increased and slowly decaying, but to the date it has not yet recovered the previous background rate.

SO-2.02

Lokalisierung der X-Diskontinuität unterhalb des marokkanischen Schelfes

T. Rein¹, K. Spieker¹, M. Korn¹, C. Thomas²

¹Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie, Leipzig, ²Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster

Die X-Diskontinuität wird mit Geschwindigkeitskontrasten in 250-350 km Tiefe assoziiert. Bisher ungeklärt ist die Entstehungsursache, sowie die globale Verteilung der X-Diskontinuität. Verschiedene Phasenübergänge wie Coesit zu Stishovit, Olivin und Periklas zur wasserfreien Phase B, oder Anisotropie aufgrund der Entwässerung von Mg-Silikaten werden unter anderen als mögliche Ursachen diskutiert. Eine möglichst globale Kartierung und Charakterisierung der X-Diskontinuität kann zum Verständnis über die Beschaffenheit und Dynamik des Erdmantels beitragen. Ziel dieser Arbeit ist die Lokalisierung der X-Diskontinuität unterhalb des marokkanischen Schelfes unter Anwendung der P-Wellen Receiver Funktionsanalyse. Hinsichtlich der Mantelzusammensetzung ist das marokkanische Schelf ein interessantes Untersuchungsgebiet, da es sich in Nähe des Ozean-Kontinent-Übergangs und des kanarischen Hot-Spots befindet. Frühere Studien haben die X-Diskontinuität bereits in 260-370 km Tiefe SW von Marokko lokalisiert.

Unsere Ergebnisse zeigen Ps-Welleneinsätze 31-39 s versetzt zur direkten P-Welle, dies entspricht Konversionstiefen von 280-360 km. Unterhalb des Ozean-Kontinent-Übergangs tritt die X-Diskontinuität sowohl bei 320 km, als auch bei 360 km Tiefe auf. Besonders dominant ist der Geschwindigkeitskontrast in 320 km Tiefe unterhalb des Ozeans. In 320 km Tiefe könnte der Phasenübergang Coesit-Stishovit Ursache für die Konversion sein, diese Umwandlung erfordert jedoch freies Silizium. Die Umwandlung von Olivin und Periklas zur wasserfreien Phase B benötigt eine an MgO-angereicherte Mantelzusammensetzung um die Konversion in 360 km Tiefe erklären zu können. Basierend auf dem allgemeinen Verständnis bezüglich der Eigenschaften des Erdmantels und dem großen Tiefenbereich lassen sich die verschiedenen Tiefen der

X-Diskontinuität nicht mit nur einem einzelnen Phasenübergang erklären. Folglich könnte die X-Diskontinuität durch einen deutlich heterogeneren Mantel als bisher angenommen verursacht sein. Eine ausführliche Analyse der T-Komponente auf Anisotropie wäre für eine weitere Charakterisierung der X-Diskontinuität sinnvoll.

SO-2.03

An energetic swarm of outer-rise normal faulting events along the Loyalty Islands segment of the New Hebrides subduction zone

S. Cesca¹, L. Passarelli¹, N. Nooshiri¹, S. Jónsson²

¹GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam,

²King Abdullah University of Science and Technology (KAUST), Thuwal, Saudi Arabia

Outer rise normal faulting events are shallow earthquakes occurring near subduction zones in response to tensile flexural stresses induced by the subducting plate bending processes. Large thrust earthquakes at the subduction interface enhance outer rise normal faulting activity, especially when the rupture of large thrust earthquakes reaches the surface. As far as we know, swarms of outer rise normal faulting earthquakes have not yet been documented. In this work we analyzed swarm-like activity of tensional earthquakes that occurred along the southern segment of the New Hebrides subduction zone close to Loyalty Islands. The outer rise swarm started on 31 October 2017 after a Mw 6.8 tsunamigenic thrust earthquake on the slab interface and it lasted for approximately a month with seven normal faulting events between Mw 6 and 7. Three of the swarm earthquakes triggered a small tsunami. We inverted for moment tensors of 82 Mw>4.7 swarm events using broadband stations at regional distances: four are thrust earthquakes while all the others are normal faulting events. Their hypocenters are shallow and compatible with the tsunamigenic nature of the largest events. The outer rise activity started right after the large thrust earthquake with moderate normal faulting events in the first hours and then progressed with increasing magnitude until a Mw 6.7 earthquake occurred on 1 November 2017. The activity continued steadily until December 2017 with the largest earthquake of Mw 7 occurring on 19 November 2017. The swarm activity stretched along a ~100 km trench-parallel segment with a clear northward migration of about 60 km in the first three weeks of November. The fast ~3 km/day migration speed suggest that pore-pressure diffusion was not the triggering mechanism. The closest GPS station, located ~100 km away from the swarm area, recorded ~2 cm cumulative displacement during the swarm and finite fault modeling indicates that the swarm earthquakes can explain the observed displacement. It is thus unlikely that a large slow-slip event at the slab interface was responsible for the swarm migration, although we cannot exclude some minor aseismic slip. The evolution of the sequence indicates that large tensile stresses had accumulated in the outer rise area, as the energetic outer rise normal faulting activity had a cumulative seismic moment that was significantly larger than the moment released by the preceding slab interface earthquake.

SO-2.04

Estimating the ground motion distribution of the 2016 Mw 6.2 Amatrice, Italy earthquake using remote infrasound observations

L. Ceranna¹, A. Le Pichon², B. Hernandez², J. Vergoz², P. Herry², C. Pilger¹, E. Marchetti³, M. Ripepe³, R. Bossu²

¹BGR, B4.3, Hannover, ²CEA, DAM, DIF, Arpajon, France,

³UniFi, Department of Earth Sciences, Firenze, Italy

The Mw 6.2 Amatrice earthquake that struck central Italy on 24 August 2016 was recorded by 7 infrasound arrays in the Euro-Mediterranean region at distances up to 1260 km. Most stations recorded long lasting coherent wave trains characterized by large back-azimuth variations. The back projection of the stratospherically ducted infrasound recorded at five arrays illuminates radiating regions over 600 km along the Apennines from the Po basin to the Gulf of Naples. A comparison between the acoustic surface pressure derived from infrasound records and the seismic source pressure derived from measured seismic ground motion shows first order agreement in the attenuation with the epicentral distance. From these observations, seismic quality factors in Central Italy are estimated. The northernmost reconstructed source region comprises the Po Valley where seismic amplification occurred within the plain alluvial sediments. These results show that infrasound records at hundreds of kilometers from a shallow moderate-magnitude devastating earthquake can provide ground shaking information as well as local amplification caused by topographic and geological features. Overall, these results give evidence of the surplus of the International Monitoring System for addressing issues being relevant for civil purposes and scientific research as well as for providing additional information as a complementary multi-technology network on potential natural hazards, especially in remote areas.

SO-3.01

Virtual seismometers at depth derived from 2014 Vogtland EQ swarm event couples

M. Ohrnberger¹, F. Krüger¹, T. Dahm²

¹Universität Potsdam, Geowissenschaften, Potsdam OT Golm,

²Deutsches GeoForschungsZentrum Potsdam, Potsdam

We test the estimation of event to event Green's function (also known as virtual seismometer/sensor method) using data recorded during the 2014 swarm earthquake sequence in the NW Bohemia/Vogtland region. The method combines interferometric principles and the reciprocity of the Green's function to obtain cross event Green's functions resembling virtual sensor locations at depth. The estimation procedure involves the correlation of recordings from couples of earthquakes at a number of receivers. As result from stacking those correlations the inter-event Green's function is approximated.

We have selected 100+ events from the 2014 earthquake swarm with Magnitudes above 1.5. The relative location accuracy of the event is assumed to be better than 100 m given the existence of a double difference located bulletin. For the analysis we were able to use

recordings from a small temporary array including a borehole sensor sampled at 400 Hz as well as the 100 Hz data stream from the permanent Czech network station NKC.

Overall we can evaluate over 6000 event pair paths with inter-event distances up to 3 km. Sorting the event pair paths by orientation and with distance we can apply slantstack techniques to estimate wave propagation velocities at depth. The current study is the starting point for our aim to derive a highly detailed structural image of the source volume of the 2014 swarm and is part of the on-going ICDP Project “Drilling the EGER Rift”.

SO-3.02

Inversion for moment tensors including rotational ground motion: 1D vs 3D structure

S. Donner¹, B. Hejrani², M. Mustac³, H. Tkalčić², H. Igel⁴

¹BGR Hannover, Hannover, ²ANU Canberra, RSES, Canberra, Australia,

³University of Zagreb, Department of Geophysics, Zagreb, Croatia,

⁴LMU München, Department für Geo- und Umweltwissenschaften, München

Waveform inversion for seismic moment tensors – though mathematically a standard procedure – still suffers from several difficulties. In earlier studies, it was shown that the situation can be improved drastically by including rotational ground motions.

We assess the potential of rotational ground motion recordings to increase the resolution power and reduce non-uniquenesses for seismic point source solutions. Based on synthetic waveform data, we perform a Bayesian (i.e. probabilistic) inversion. Thus, we avoid the subjective selection of the most reliable solution according to the lowest misfit or other constructed criterion. In addition, we obtain unbiased measures of resolution and possible trade-offs.

Here, we especially test the influence of the velocity model on the inversion including rotational ground motion, focusing on the question: With respect to the resolution of the moment tensor parameters and computational effort, what is the better strategy: invert only 3C data with a good 3D velocity model, use 6C data and a 1D velocity model, or go for both, 6C data and a 3D structural model?

SO-3.03

Resolving finite-source rupture parameters of earthquakes by combining InSAR and teleseismic waveform data

H. Sudhaus¹, S. Heimann², M. P. Isken¹, A. Steinberg¹, H. Vasyura-Bathke³, S. Daout⁴

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel,

²Deutsches Geoforschungszentrum, Potsdam, ³Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Potsdam, ⁴University of Oxford, Department of Earth

Sciences, Oxford, United Kingdom

Accurate positioning, well-resolved source mechanism and slip estimates of crustal earthquakes are in high demand to characterise the rupture, to associate it with a causative fault and to learn about involved processes and hazard. We aim to learn

particulars from each individual earthquake and also generally from statistics of many earthquakes in the disciplines of seismology, tectonic research and hazard assessment. Our imaging methods need to keep up with these high demands. One way to image earthquake rupture is inverse modelling, where a kinematic rupture model in an Earth-like medium is used to produce synthetic data for comparison with observations. To gain information as precise as possible on the buried earthquake process, a combination of different and independent observations is very useful, because different sensitivities to different source parameters are combined and strengthen the solution.

We present finite-source models that stem from kinematic inverse modelling for which we combined near-field static ground displacements, measured using the InSAR technique or from GNSS networks, and far-field ground motion measurements with seismometers. Our low-parametric rupture models have a rectangular shape, a nucleation point from which the rupture spreads circularly with a constant slip. The sources are embedded in an elastic layered medium and we use pre-calculated Green's functions to synthesize the static near-field and dynamic far-field ground motions for comparison with the observed data. To estimate the source parameters we use a non-linear optimisation technique. Model parameter uncertainties are estimated utilizing bootstrapping in a Bayesian way. Our methods enable a precise location, a robust imaging of the source mechanism and considerably decrease the uncertainties of source depth and source dimension. Furthermore, we can independently locate the earthquake hypocenter relative to its centroid with the described setup and combination of data.

We demonstrate the capabilities by showing results for the much debated 2010 Haiti earthquake and a Mw6.8 earthquake in 2011 in Myanmar. Our results show that a deep-rooted combination of today generally available InSAR data and teleseismic waveforms allows for an improved imaging of crustal earthquakes. The presented methods are part of and published online with the open-source software projects Pyrocko and Grond. This work is largely funded by DFG through an Emmy-Noether project.

SO-3.04

The Bayesian Earthquake Analysis Tool (BEAT)

H. Vasyura-Bathke¹, J. Dettmer², A. Steinberg³, S. Heimann⁴, S. Jónsson⁵, M. Mai⁵, M. Isken⁴, H. Sudhaus³

¹Universität Potsdam, Institut für Geowissenschaften, Potsdam, ²University of Calgary, Calgary, Canada, ³Christian-Albrechts Universität zu Kiel, Kiel,

⁴Geoforschungszentrum Potsdam GFZ, Potsdam, ⁵King Abdullah University of Science and Technology, Thuwal, Saudi Arabia

Modern studies of crustal deformation and the related source estimation, including magmatic and tectonic sources increasingly use non-linear optimization strategies to estimate geometric and/or kinematic source parameters, often considering geodetic and seismic data jointly. However, the optimization process is complicated, and consists of several steps in the source parameter estimation procedure. These include prescribing or modeling the source geometry, calculating the Green's Functions (often for a layered elastic half-space), and estimating the distributed slip, or possibly other kinematic source parameters. Bayesian inference has increasingly been used for estimating

posterior distributions of deformation source model parameters, given measured/estimated/assumed data and model uncertainties. For instance, some studies consider uncertainties of the layered medium and propagate these into source parameter uncertainties. In addition, innovative sampling algorithms have been developed to efficiently explore the high-dimensional parameter spaces.

Compared to earlier studies, these improvements have resulted in overall more robust source model parameter estimates that include uncertainties. However, the computational demands of these methods are high and estimation codes are rarely distributed along with the published results. Even if codes are made available, it is often difficult to assemble them into a single optimization framework as they are typically coded in different programming languages. Therefore, further progress and future applications of these methods/codes are hampered, while reproducibility and validation of results has become essentially impossible.

In the spirit of providing open-access and modular codes to facilitate progress and reproducible research in deformation source estimations, we undertook the effort of developing BEAT, a python package that comprises all the above-mentioned features in one single programming environment. The package builds on the pyrocko seismological toolbox (www.pyrocko.org), and uses the pymc3 module for Bayesian statistical model fitting. BEAT is an open-source package (<https://github.com/hvasbath/beat>), and we encourage and solicit contributions to the project. Here, we present our strategy for developing BEAT, show application examples, especially the effect of including the model prediction uncertainty of the velocity model in a full moment tensor optimization.

SO-4.01

Lokale Erdbebentomographie im Bereich des intrakontinentalen Schwarmbebengebiets Werdau (Ostthüringen/Westsachsen)

M. van Laaten, U. Wegler

Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Geowissenschaften, Jena

Die Region Werdau im Bereich Ostthüringen/Westsachsen ist die nördliche Fortsetzung der bekannten Schwarmbebenregion NW-Böhmen/Vogtland und somit die nördlichste Schwarmbebenregion entlang der Nord-Süd gerichteten, vermuteten Leipzig-Regensburg Störungszone. In der vorgestellten Arbeit sollen Informationen im Bereich der intrakontinentalen Seismizität und der Erdbebenschwärme der Region Werdau gewonnen werden. Zunächst wurden ein 1-D Minimum Modell invertiert, sowie die Erdbeben relokalisiert um anschließend mithilfe der lokalen Erdbebentomographie das erste 3-D Modell der P-Wellengeschwindigkeit, sowie das V_p/V_s -Verhältnis der Region zu erstellen. Oberflächennahe Geschwindigkeitsanomalien lassen sich hierbei mit der regionalen Geologie verknüpfen wie etwa Granit-Intrusionen im Bereich des Erzgebirges mit niedrigen V_p - und V_p/V_s -Werten sowie strukturelle Geschwindigkeitsanomalien mit dem Saxothuringikum. Die Modelle zeigen zudem den Übergang von oberer zu mittlerer Kruste sowie von mittlerer zu unterer Kruste. Tieferliegende Bereiche mit erhöhtem V_p/V_s -Verhältnis wurden im Modell als Fluidwege interpretiert, die entgegen der Erwartung von Nord nach Süd durch die

Kruste verlaufen. Die relokalisieren Erdbeben treten zudem in kleinen Bereichen entlang der Störungszone, sowie im Randbereich der Fluidwege in zwei bevorzugten Tiefen von 11 km und 17 km auf. Direkt südlich der Schwarmbebenregion Werdau, innerhalb der Kruste, zeigt die Tomographie eine neue sehr niedrige V_p/V_s -Anomalie, die hier als Granit-Intrusion interpretiert wurde und möglicherweise im Zusammenhang mit den Granit-Intrusionen des Erzgebirges steht. Daher ergibt sich die Schlussfolgerung, dass die Kombination aus Fluiden, der neuen niedrigen V_p/V_s -Anomalie sowie Spannungen entlang der Störungszone die Erdbebenschwärme von Werdau verursacht.

SO-4.02

Seismicity of the Laptev Sea Region analyzed with data from a local network 2016/2017

A. Ploetz¹, A. Krylov², W. Geissler¹, B. Baranov², S. Shibaev³, F. Krueger⁴, C. Haberland⁵

¹Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, ²P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation, ³Yakutsk Branch Federal Research Centre Geophysical Survey Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation, ⁴University of Potsdam, Institut für Geowissenschaften, Potsdam, ⁵Helmholtz-Centre, German Research Centre for Geosciences, Potsdam

The area in north-east Siberia, adjacent to the Laptev Sea of the Arctic Ocean, inherits a complex geological setting, which is to date not fully understood. Located north to the Laptev Sea, the ultraslow spreading Gakkel Ridge is propagating into a continental rift system – the Laptev Sea Rift. This rift separates the North American plate from the Eurasian plate and presents a rare opportunity to investigate mechanisms of recent continental breakups.

In general, divergent plate boundaries are accompanied by magmatic and earthquake activities. The earthquake activity at the Gakkel Ridge shows a sharp image of seismicity, confined to the rift valley extends to the continental shelf of the Laptev Sea. Though, the Laptev Sea region indicates less and more diffuse seismicity and an absence of magmatic activity. So far, the local (micro-)seismicity of the Laptev Sea region is poorly described, due to a lack of local seismological stations and data sets.

In summer 2016, as part of the project **Seismicity and neotectonics of the Laptev sea region - SIOLA**, 25 seismological stations were temporarily installed in the Lena Delta. A network of 12 seismometers were located in the Lena Delta along the active seismic Olenek Fault Zone and another 13 stations as a seismological array close to Tiksi. Over a period of nine months, these instruments continuously recorded seismic data, to investigate the geodynamic processes of the Laptev Sea Rift by analyzing the local seismicity.

We will present first results from the Lena Delta network. We identified spatial clusters in the north-western part of Olenek Fault Zone and western Buor Khaya Bay with considerable background seismicity throughout the recording period.

SO-4.03

Importance of array design for locating seismic sources with time reverse imaging

C. Werner^{1,2}, E. H. Saenger^{1,2}

¹Internationales Geothermiezentrum Bochum, Hochschule Bochum, Bochum,
²Ruhr Universität Bochum, Bochum

Time Reverse Imaging (TRI) can be used to locate and characterize seismic events in a wide range applications from the lab scale over the field scale up to the global scale. In this study, the influence of the station distribution on the location accuracy is investigated on the field scale.

TRI is especially suited for locating quasi-simultaneous events and events with a low signal-to-noise ratio since no identification of events or their onset times is necessary. The recorded traces are reversed in time and reinserted into the medium at their recording positions. The time reversed wavefield is then back propagated through an adequate velocity model and focuses on the initial event location.

In this study, we show that the placement of stations strongly influences the location accuracy with TRI. Numerous synthetic simulations were performed to investigate optimal station distributions. Additionally, the influence of a complex velocity model and a high level of noise was evaluated.

To evaluate the obtainable location accuracy, four categories are proposed. Category I represents simulation set-ups that produce most reliable locations while category IV represents simulation set-ups that were not able to locate the specific source. The categories enable the evaluation of a specific simulation set-up to locate specific sources and thus help identify optimal station distributions.

The gained knowledge about optimal station distributions is used to mimic a real-life example. A velocity model for the region of southern California is used as well as positions of real-life stations deployed in that area. The location accuracy with these stations is compared synthetically to the obtainable accuracy with more optimal stations. Finally, some of the real stations are excluded to achieve higher location accuracies.

SO-4.04

Low-frequency seismicity at Villarrica Volcano: Results from a dense local network

J. Lehr

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel

Villarrica Volcano (Chile) is one of the most active volcanoes in South America. In March 2012, it was surveyed using a short-term, but very dense local station network. In our contribution, we present an overview of our findings concerning the low-frequency part of the seismicity.

The signal below 5 Hz consists of a continuous notorious unrest, overlain by impulsive

events of higher amplitude in 60 s-intervals, which show the typical characteristics of volcanic long-period events. To clarify the relation between unrest and events, we applied three techniques to locate the origin of the seismicity: intersection of propagation directions determined by array analysis, mapping amplitudes and modeling of amplitude decay. All methods yield almost identical epicenters inside the summit crater, which confirms earlier attributions of the seismicity to volcanic activity inside the conduit. The location is temporally stable; a separation of the signal in events and inter-event noise yields similar origins. From the dominance of surface waves and the obvious scattering, we infer a source near the surface. Our findings substantiate earlier suggestions, that the seismicity is composed of overlapping long-period events rather than a sustained tremor. At two small subarrays at the northern and western flank, dispersion relations could be derived which allow the inversion for local S-wave velocity-depth functions. Both locations exhibit a 3-layer structure with interfaces at 100 m and 400 m depth and a velocity range of 300-3000 m/s. These values are typical for increasingly consolidated pyroclastic material. Moreover, the structure is confirmed by local outcrops. The modeling of the amplitude decay reveals a quality factor around 50, which can be attributed to scattering attenuation.

SO-4.05

Die Standortcharakterisierung Schweizer Starkbebenstationen durch geeignete Methoden. Ein Fallbeispiel

M. Hobiger, W. Imperatori, P. Bergamo, D. Fäh

Schweizerischer Erdbebendienst, ETH Zurich, Zurich, Schweiz

In einem seit 2009 und noch bis 2020 laufenden Projekt erneuert und erweitert der Schweizerische Erdbebendienst sein Starkbebenetzwerk durch den Bau von insgesamt 100 neuen Starkbebenstationen. Um die Aufzeichnungen dieser Stationen, insbesondere die Verstärkung von Erdbebensignalen, zu verifizieren und besser zu verstehen, werden an allen neuen Standorten Messungen zur Standortcharakterisierung durchgeführt, wobei jeweils für den Standort geeignete Methoden verwendet werden.

Mittels aktiver Seismik (z.B. MASW, Refraktionsseismik) können die oberflächennahen Schichten untersucht werden. Passive seismische Methoden (z.B. H/V, Arraymessungen von natürlicher Bodenunruhe und Auswertung mit verschiedenen Methoden) erlauben im Allgemeinen eine bessere Auflösung der tieferen Schichten, wobei die erreichbare Tiefe mit der Größe des Arrays korreliert. Mit weiteren geophysikalischen Methoden (z.B. CPT-Messungen) kann nichtlineares Verhalten des Bodens, z.B. im Fall von Bodenverflüssigung, untersucht werden.

An Standorten mit einem hohen Potential für Bodenverflüssigung sind im Rahmen des Starkbebenetzwerkerneuerungsprojekts insgesamt bis zu vier Bohrlochstationen vorgesehen, wo neben einer Oberflächenstation auch zwei Bohrlochseismometer (in Tiefen von ca. 20 und 100 m), sowie mehrere Porenwasserdrucksensoren innerhalb der potentiell verflüssigbaren Schichten installiert werden sollen. Anhand des für solch eine Bohrlochstation ins Auge gefassten Standorts in Collombey-Muraz (Kanton Wallis)

werden wir zeigen, wie wir verschiedene Methoden kombinieren, um den Untergrund möglichst umfassend zu charakterisieren und zu entscheiden, an welchem Ort solch eine Bohrlochinstallation am erfolgsversprechendsten ist.

SO-5.01

Detection and Location Capability of the TIXI seismic array for events in the Laptev Sea Rift Region (Northeast Siberia)

F. Krüger¹, A. Plötz², W. Geissler², C. Haberland³, S. Shibaev⁴, B. Baranov⁵, N. Tsukanov⁵, D. Vollmer¹

¹Universität Potsdam, Institut für Geowissenschaften, Potsdam,

²Alfred Wegener Institut, Bremerhaven,

³Deutsches GeoForschungszentrum, Potsdam,

⁴Yakutsk Branch of Geophysical Survey SB RAS, Yakutsk, Russian Federation,

⁵P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Moskau, Russian Federation

We present detection and location results for the first 9 months of data (August 2016 to April 2017) recorded at the temporary TIXI seismic array for events in the Laptev Sea Region in northeastern Siberia. The TIXI array is a 13 element miniarray of 2 km aperture equipped with passive shortperiod seismometers

and low power recorders enabling recording during the arctic winter.

The array worked very well also at low temperatures and the data loss due to technical problems was minimal.

We use a moving window frequency-wavenumber scheme followed by a threshold detection to find events.

The detected events are then classified

by their slowness and frequency characteristics

into small very local events in the array or within one

aperture distance, local and regional seismic events and teleseismic signals.

We observe several thousands of small very local events especially during the winter months and can relate their occurrence to drops in the soil temperature.

Several hundred local and regional earthquakes are detected and can be located using a regional velocity model.

Local earthquakes form a NNW-SSE striking lineament along the coast line.

Regional earthquakes are observed to the NW in the Lena Delta region, to the

South and SE in the Buor Khaya Bay and Bulun region and in the Laptev Sea

to the NE of the array. We compare the location accuracy using events

in the Lena Delta located by the contemporaneously installed LENA delta network.

We find some earthquakes at lower crustal/upper mantle level beneath the Buor Khaya Bay,

however, event depth determination using a single array is highly model dependent and therefore uncertain.

SO-5.02

Detektion und Lokalisierung von regionalen Bebenschwärmen mit dem Taunus-Array am Kleinen Feldberg

M. Lindenfeld, G. Rümpler

Goethe-Universität, Institut für Geowissenschaften / Geophysik, Frankfurt am Main

In den Jahren 2013 bis 2016 wurde im Rahmen des BMWi-Projektes FERRY am Kleinen Feldberg im Taunus ein seismisches Array – bestehend aus 10 Stationen – mit einer Apertur von ca. 700 m errichtet. Zielsetzung war die Detektion und Lokalisierung von natürlichen und induzierten Erdbeben im Bereich geplanter geothermischer Kraftwerke bei Trebur und Wiesbaden. Allerdings konnten diese Anlagen bisher nicht realisiert werden. Die grundsätzlichen Schritte der Datenbearbeitung wurden daher auf Basis registrierter Lokalbeben entwickelt. Die Vertrauenswürdigkeit der Array-basierten Lokalisierungen konnte dabei unter Einbeziehung der Stationen des SiMoN-Netzwerkes sowie der Lokalisierungen des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie überprüft werden.

Die Ergebnisse des FERRY-Projektes zeigen, dass mit dem Taunus-Array noch Erdbeben in bis zu 50 km Entfernung bei Magnituden von knapp unterhalb 1.0 detektiert und lokalisiert werden können. Der Vergleich mit herkömmlichen Verfahren zeigt aber auch, dass es dabei zu systematischen Abweichungen bei der Bestimmung der Herdrichtung und -entfernung kommt. Diese Abweichungen werden durch Inhomogenitäten in der Erdkruste verursacht und können mit Hilfe einer umfangreichen Datenbasis im Rahmen einer Array Kalibrierung empirisch korrigiert werden. Dabei haben sich die Registrierungen von Bebenschwärmen, die in den Jahren 2015 bis 2018 beobachtet wurden, als besonders nützlich erwiesen, um die Detektions- und Lokalisierungsfähigkeiten des Arrays zu untersuchen. Wir präsentieren die Ergebnisse für die Bebenschwärme bei Nieder-Ramstadt (Entfernung zum TNS-Array = 47 km), bei Bad Schwalbach (37 km) und bei Bad Brückenau (91 km).

SO-5.03

Locating a harmonic tremor source beneath the Gornergletscher (Switzerland)

J. Umlauf¹, F. Lindner², F. Walter², P. Roux³, M. Korn¹

¹Leipzig University, Institute of Geophysics and Geology, Leipzig, ²ETH Zurich, Department of Civil, Environmental and Geomatic Engineering, Zurich, Switzerland, ³Université Grenoble Alpes, Institut des Sciences de la Terre, Grenoble, France

The Gornergletscher (Switzerland) is one of the largest glacial systems in the Alps. At the conjunction to one of its main tributaries, the Grenzletscher, it hosts the Gornersee, an ice-marginal lake that drainages annually during spring and summer season due to rapid ice and snow melting. In summer 2007 and during the overspill period of the Gornersee, a small dense array ($\varnothing < 300$ m, 6 stations) was installed on the Gornergletscher. The continuous noise records show a harmonic tremor signal between 20-30 Hz which is persistent over several hours.

We applied a combined approach of matched field processing (MFP), polarity optimization, focal mechanism derivatives and finite difference modelling to locate the

source of this tremor signal. MFP does not provide stable source location in the conventional way as azimuthal polarity changes of the source signal are not considered initially, but appear to be present in the data. We developed a new tool that takes differing signal polarities across an array into account and found a focal spot, which is located on the glacier bed. From the derived station polarities and the source location we calculated a set of potential focal mechanisms, which we modelled using the finite difference software FD3D. The MFP inversion of the synthetic seismograms reveals the most probable source mechanism that we link to stick-slip motion on the bed of the Gornergletscher.

SO-6.01

Multiple Constituents of Solid Earth Tides Observed with Ambient Seismic Noise

T. Eulenfeld¹, C. Sens-Schönfelder²

¹Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Geowissenschaften, Jena,

²Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam

Elastic moduli of geomaterials are not constant. Due to the elastic nonlinearity of heterogeneous materials they change with the applied strain. This makes the seismic waves whose velocity depends on the elastic moduli an ideal tool for remote monitoring of subsurface strain variations – an observation that is of fundamental importance in underground operations from construction to mining, and for the monitoring of geological processes in volcanoes and fault zones. However, the strain sensitivity of the seismic wave velocity is a parameter that is hard to measure in-situ. The laboratory approach to probe the sensitivity in an active deformation test cannot be transferred to the field where controlled strain cannot be applied. Using the laboratory estimates for interpretation on the field scale requires access to representative samples and involves significant uncertainty in the upscaling. Here we show that improved processing of data from a single seismic station allows to measure the strain sensitivity of the seismic wave velocity in a natural experiment that uses the deformation induced by tidal forces as perturbations and the ambient seismic noise to measure the velocity response. We observe multiple tidal constituents, a thermal strain signal and nonlinear coupling between tidal and thermal strain perturbations.

SO-6.02

Seismic activity during the 2013-2015 inter-eruptive phase at Lascar volcano, Chile

S. Cesca¹, A. Gaete¹, L. Franco², J. San Martín², T. Walter¹

¹GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, ²OVDAS Observatorio Sismológico de los Andes del Sur, Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), Temuco, Chile

Lascar volcano is one of the historically most active and VEI-4 producing volcanoes in northern Chile. Thanks to a temporary deployment of broadband seismometers, the dedicated seismological network was densified, allowing to better investigate local seismicity during the 2014-15 unrest episode, terminating with the October 30, 2015 eruption. Seismic events classification reveals a dominance of long period (LP) signals,

accompanied by a weaker volcano tectonic (VT) activity. The seismic activity shows a complex patterns articulated in different phases, which helps to understand and track transient processes within the volcano edifice. A sudden, short-lasting VT anomaly is identified as the first sign of the volcano unrest and accompanies the start of a long-lasting LP activity, which is observed over a period of ~14 months continuing until the eruption. The LP rate and signal amplitudes are modulated over time: they are lower in the initial phase, rise during the intermediate period October 2014 - July 2015, and slowly decay while approaching the eruption time. LP hypocentral location is challenging, due to the lack of clear seismic onsets. We tackled the problem by comparing both standard and newly proposed location techniques, based on the fit of amplitudes, polarization, arrival time coherence and waveform cross-correlation. Results constrain LP events sources within a tight, shallow, vertically elongated volume extending down to ~2 km below the volcano summit. While more spread, VT events are mostly localized at larger depths of 2-5 km under the summit, just below the LPs focal region. A waveform similarity and consequence cluster analysis denote a high similarity of LP signals, which appear as the result of a repeated process. Together, VT and LP locations allow to image a conduit-like path down to ~7 km depth, with the lower part activated by small brittle processes and the shallower part resonating in response to fluid transfer. Compared to other independent observations, our result confirm the presence of structural anomalies beneath Lascar volcano, but the absence of a major magma storage in the uppermost 7 km. The combined location approach shows strengths to be tested also at volcanoes elsewhere, while specific results at Lascar underline the challenging condition of a missing major magma chamber that could be used to identify eruption precursors.

SO-6.03

Sub-Reservoir-Seismizität im Norddeutschen Becken

G. Mokolke, M. Joswig

Institut für Geophysik, Universität Stuttgart, Stuttgart

Die Überwachung der induzierten Seismizität im Bereich der Gasfelder Norddeutschlands ist umfassend und zeichnet ein komplexes Bild von Aktivität in den Lagerstättenhorizonten. Weniger beachtet wurde die seismische Aktivität in der mittleren und tieferen Erdkruste. Die Annahme, dass Norddeutschland weitestgehend aseismisch ist, wurde inzwischen durch zahlreiche Beobachtungen von Erdbeben unterhalb und abseits der Förderhorizonte entkräftet. Ein überraschendes Ergebnis dieser Beobachtungen ist, dass die Zahl tiefkrustaler Beben (tiefer als 20 km) die der mittelkrustalen (bis 20 km Tiefe) sogar übersteigt. Das seismotektonische Verhalten in Norddeutschland steht somit entgegen der Beobachtung, die duktile Unterkruste des phanerozoischen Mitteleuropas nördlich der Alpen könne keine nennenswerte Zahl von tiefen Intraplatten-Erdbeben generieren.

Im ersten Themenblock des Vortrags wird die Charakteristik der verschiedenartigen Seismizität im Sub-Reservoir-Bereich dargelegt und mögliche Ursachen, wie etwa die Absenkung des randglazialen forebulge der vergangenen Eiszeiten, diskutiert. Angesichts der Bedeutung einer genauen Verortung in der Tiefe wird als zweiter Themenblock des Vortrags die Hypozentrumsbestimmung selbst behandelt. Wir möchten auf zwei Methoden der Tiefenlokalisierung eingehen, die vom Institut für

Geophysik Stuttgart eingesetzt wurden (Softwarepakete NanoseismicSuite und NonLinLoc). Wir zeigen, inwiefern speziell in Norddeutschland eine variable und/oder eingeschränkte Stationswahl und die Verwendung eines variablen oder invariablen $vPvS$ Geschwindigkeitsverhältnisses Einfluss auf die Hypozentrumsbestimmung hat.

SO-6.04

Makroseismische Intensitäten bei bergbauinduzierten Erdbeben in Deutschland

D. Kaiser

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

Eine unerwünschte Nebenwirkung des Bergbaus sind seismische Erschütterungen, die von der Bevölkerung wahrgenommen werden, insbesondere wenn sie Schäden verursachen. Bei der Untersuchung dieser induzierten Erdbeben sind Modelle von grundlegender Bedeutung, die den Zusammenhang zwischen Magnitude M , Intensität I und Hypozentralentfernung R beschreiben. Sie sind eine Basis für seismische Gefährdungsanalysen und ermöglichen eine einfache Abschätzung der Spürbarkeit oder von Schäden.

Die Erdbebedatenbasis für Deutschland GERSEIS enthält Parameter für über 5000 induzierte seismische Ereignisse, darunter 182 mit Angaben zu Magnitude und Intensität und davon 47 auch mit Angaben zu mittleren Isoleistenradien. Zusätzlich ausgewertet wurden die publizierten makroseismischen Karten von seismischen Ereignissen in Bergbaugebieten Deutschlands. Ein besonderer Blick wird auf die Bereiche mit Intensität 5 gelegt, da sie zur Festlegung des Einwirkungsbereichs nach der Bergverordnung über Einwirkungsbereiche relevant sind.

In Deutschland sind durch den Bergbau verursachte Erdbeben mit mäßigen bis schweren Gebäudeschäden (Intensität 7 und 8) bislang nur im Kali- und Salzbergbau aufgetreten. Leichte Gebäudeschäden (Intensität 6) wurden auch durch seismische Ereignisse im Kohlebergbau verursacht. In den letzten 20 Jahren nahm die Häufigkeit von spürbarer Seismizität in den Regionen mit Erdgasförderung sowie in den letzten Jahren auch bei der Nutzung tiefer geothermischer Energie zu.

Die Herdtiefen lagen maximal bei 6 km mit einer Häufung bei 1 km und zeigen einen großen Einfluss auf den Zusammenhang zwischen M und I . Wegen der geringen Herdtiefe wurde z.B. bereits bei Erdbeben mit $ML=1,8$ die Intensität 5 erreicht. Intensitätsabnahmemodelle der Form $I = a + b M + c \log R$ können an die Beobachtungen angepasst werden. Intensitätsabnahmemodelle für tektonische Erdbeben passen nicht für induzierte Erdbeben:

für induzierte Erdbeben ist I für gegebenes M und R kleiner.

Deutliche Unterschiede wurden zwischen verschiedenen Bergbaugebieten festgestellt: Intensität 5 wurde in Erdgas-Fördergebieten bei gleicher Magnitude in größeren Hypozentralentfernungen beobachtet als in Kohle- und Kali-Bergbaugebieten. Da makroseismische Daten (insbesondere Intensitätsdatenpunkte) bislang fast ausschließlich analog vorliegen und oft schwer zugänglich sind, ist der Aufbau einer Datenbank für induzierte Erdbeben mit makroseismischen Daten notwendig.

SO-7.01

Einwirkungsbereiche nach Erschütterungen – erste Erfahrungen und Praxisbeispiele aus Niedersachsen

M. Bischoff¹, N. Gestermann², A. Schindewolf¹, S. Viola¹

¹Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Hannover,

²Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover

Induzierte Erdbeben in Niedersachsen haben in den vergangenen Jahren zu Bodenschwingungsgeschwindigkeiten geführt, bei denen Schäden an Gebäuden nicht ausgeschlossen werden können. Die Anzahl von Schadensmeldungen nach Erdbeben war in einzelnen Fällen erheblich, z.B. über 400 Meldungen nach einem Erdbeben am Erdgasfeld Völkersen im April 2016. Der Umgang mit Schadensregulierungen hat Öffentlichkeit und Medien sensibilisiert.

Bei Schäden aufgrund von induzierten Erdbeben, handelt es sich um Bergschäden im Sinne des Bundesberggesetzes. Ersatzpflichtig ist der Unternehmer oder der Bergauberechtigungsinhaber. Durch die Novellierungen des Bundesberggesetzes und der Einwirkungsbereichs-Bergverordnung wurde die Rechtsposition Geschädigter im August 2016 gestärkt. Seitdem gilt auch für bergbauliche Tätigkeiten mit Hilfe von Bohrungen und für Erschütterungen die sogenannte Bergschadensvermutung.

Die Einwirkungsbereichs-Bergverordnung regelt, in welchen Gebieten die Bergschadensvermutung gilt. Der Arbeitskreis 7 des Direktorenkreises (DK) der Staatlichen Geologischen Dienste hat einen Leitfaden erarbeitet, wie ein Einwirkungsbereich nach Auftritt einer Erschütterung in der Praxis festzulegen ist. Diese Empfehlungen sollen in die Vollzugshilfe zur Umsetzung der neuen gesetzlichen Regelungen aufgenommen werden. Methodisch stützt sich die Festlegung eines Einwirkungsbereichs auf gemessene Bodenschwingungsgeschwindigkeiten, Makroseismik und empirische Beziehungen sowie Modellrechnungen.

Im Beitrag werden die neuen gesetzlichen Regelungen kurz vorgestellt und Erfahrungen aus der Anwendung auf erste Praxisbeispiele für induzierte Erdbeben durch Erdgasförderung in Niedersachsen vorgestellt. Im Fokus stehen dabei ein Erdbeben am 16. August 2018 bei Uchte, ML 2,9, und ein Erdbeben am 1. Oktober 2018 bei Lastrup, ML 3,6.

SO-7.02

Aktive Tektonik am Plöner See (Schleswig-Holstein)?

M. Thorwart, S. Hildebrandt, 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 Süden 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 April 2017 und 2018 wurden geoelektrische und seismische Profile mit P- und SH-Wellen aufgenommen, bei denen über 2000 Oberflächenpunkte mittels DGPS eingemessen wurden. Diese wurden mit dem digitalen Geländemodell (DGM), welches 2007 mittels LIDAR erstellt wurde, verglichen. Für die gesamte Senke ergibt sich eine mittlere Höhendifferenz von -3 cm, die aber unterhalb der Höhenunengenauigkeit von 10 cm des Geländemodells liegt, so dass keine Aussage über eine aktive Absenkung gemacht werden kann.

Im Februar 2018 registrierten 12 seismische Stationen (DataCube & 3C 4.5Hz Geophon) für 4 Wochen seismische Signale. Dabei befanden sich 2 Stationen ausserhalb der Senke. In den Daten wurden Ereignisse gefunden, die nur auf den Stationen im Bereich der Senke, aber nicht auf den 2 weiter entfernten Stationen beobachtet wurden. Die Ereignisse haben eine Dauer von weniger als eine Sekunde und einen Frequenzgehalt zwischen 5 und 15 Hz. Es wurde eine systematische Gittersuche über die Koordinaten des Hypozentrums und über die Ausbreitungsgeschwindigkeit durchgeführt, um die Ereignisse zu lokalisieren. Die gefundenen Ausbreitungsgeschwindigkeiten liegen bei 200 m/s, die auch in der aktiven Seismik für Oberflächenwellen beobachtet wurden. Das Epizentrum liegt im Bereich der Senke und ist gut bestimmt. Das Hypozentrum liegt in den oberen 20m. Die Herdtiefe ist aber schlecht bestimmt. Ob die Ereignisse auf eine aktive Absenkung hindeuten oder eine andere Ursache haben, ist ungeklärt.

Das Projekt ANGUS II wird im Rahmen der Forschungsinitiative Energiespeicher gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) unter dem Förderkennzeichen 03ET6122A.

SO-7.03

Synthetic Earthquake Catalogs by 3-D HM Modelling of Gas Production

G. Li, M. Joswig

Universität Stuttgart, Institut für Geophysik, Stuttgart

Induced seismicity due to oil and gas production is a generally observed phenomenon. It has been agreed that slip on pre-existing faults is induced by poroelastic stress changes in the reservoir / surrounding rocks (Segall and Fitzgerald, 1998) and differential reservoir compaction due to the extraction (Roest and Kuilman, 1994).

Synthetic earthquake catalogs by 3D HM Modeling using a generic model of the gas field from Northern Germany are aiming to investigate the hazard from induced seismicity. In this modeling approach, the mechanical behavior of the rock formation is based on poroelastic theory and Mohr-Coulomb failure criterion. The main features of our algorithm for earthquake catalogs are applying Irwin's fracture criterion to determine whether the faulting process has stopped and Clustering algorithm DBSCAN to discover multiple seismic events in one time step. Numerical results compare fairly well to measured reservoir pressures and observed subsidence data.

Synthetic earthquake catalogs have shown plausible features in time, space and magnitude distribution, but there are some magnitude gaps between relative big and

small events. This also can be found in Gutenberg- Richter relation. The onset of seismic activity postdates the commencement of production by approximately 9 years. The induced earthquakes are weak with magnitudes (M_w) up to 2.0+. The Gutenberg-Richter b-value is about 1.4.

SO-7.04

Historische Erdbeben in Nordrhein-Westfalen: die „dunkle Periode“ der 1880er- und 1890er-Jahre

K. Lehmann

Geologischer Dienst NRW, Landeserdbebendienst, Krefeld

Erdbebenkataloge bilden die Datengrundlage zur Abschätzung der Erdbebengefährdung an einem Standort. Neben den instrumentell erfassten Ereignissen spielen auch die Beben aus historischer Zeit eine maßgebliche Rolle. Sie lassen Rückschlüsse auf die Häufigkeit von Beben in einem erweiterten Zeit- und Magnitudenbereich sowie auf die Verteilung potenzieller seismischer Quellen in einer Region zu und tragen damit zu einer Verringerung der Unsicherheiten der Gefährdungsanalysen bei.

Wichtige Quellen für die Ereignisse des 19. Jahrhunderts sind die zeitgenössischen Zusammenstellungen lokaler Berichte. Speziell für die Erdbeben­tätigkeit in der Niederrheinischen Bucht sind die detaillierten Chroniken von C.W.C. Fuchs, A. von Lasaulx, J. Nöggerath und A. Perrey von Bedeutung. Nach deren aktiver Zeit wurden die Recherchen in den 1880er- und 1890er-Jahren nicht mehr auf gleichem Niveau fortgeführt. Lediglich B.M. Lersch ergänzte seine handschriftlichen Aufzeichnungen noch einige Jahre. Erst zu Beginn des 20. Jahrhunderts nahm A. Sieberg die Forschungen mit eigenen Recherchen wieder auf.

Auch die Zusammenstellung der Erdbeben der 1880er- und 1890er-Jahren im Erdbebenkatalog von W. Sponheuer für das Gebiet der Niederrheinischen Bucht beruhen größtenteils ausschließlich auf den Aufzeichnungen von Lersch und auf einem verschollenen handschriftlichen Katalog von Sieberg. Die verwendeten Primärquellen sind nicht benannt, so dass eine Überprüfung massiv erschwert ist. Aufgrund der schlechten Dokumentation der Erdbeben in der Niederrheinischen Bucht aus den 1880er- und 1890er-Jahren können diese Jahre als „dunkle Periode“ gelten.

Eine aufwändige Recherche in deutschen und niederländischen Tages- und Wochenzeitungen zeigt, dass bei weitem (noch) nicht alle verfügbaren Informationen in den Erdbebenkatalogen berücksichtigt sind. Anhand der Gesamtheit der ermittelten Intensitäts-Datenpunkte können einige Katalogeinträge nun verifiziert und sogar verfeinert werden. Es lassen sich aber auch mehrere bisher nicht erfasste Erdbeben feststellen und Verwechslungen oder sogar Falschmeldungen identifizieren. Die Überarbeitung des Erdbebenkatalogs der Niederrheinischen Bucht für die 1880er- und 1890er-Jahre zeigt ein differenzierteres Bild der Erdbeben­tätigkeit, als bisher bekannt. Eine kritische Überprüfung von Katalogeinträgen erweist sich damit grundsätzlich als sinnvoll.

SO-7.05

The Contribution of the International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior (IASPEI) and its Forerunners to Seismology

J. Schweitzer¹, T. Lay²

¹NORSAR, Kjeller, Norway, ²University of California Santa Cruz, Santa Cruz, CA, United States of America

The International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) was founded 100 years ago. This anniversary is a welcome opportunity to review the contributions of the International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior (IASPEI) to seismology. Older than the IUGG, international cooperation in seismology was from the beginning one of the important components of geophysics and the IUGG. The International Seismological Association (ISA) was founded in 1904 and dissolved in 1922. It evolved into the Seismology Section of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), ultimately becoming the International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior (IASPEI), a name recognizing the important role of structure and physical properties of the Earth's interior for understanding our planet. Through the last hundred years, the commissions and working groups of the Association have played a major role in setting international standards in such areas as the naming of seismic phases, data exchange, travel time tables, magnitude scales and reference Earth models. The activities of IASPEI continue to have a focus on the societal impacts of earthquakes and tsunamis, with four Regional Commissions playing a major role in promoting high standards of seismological education, outreach and international cooperation.

Seismologie // Poster

SO-P1.01

Untersuchung der spektralen Eigenschaften der Meeresmikroseismik an der Station Helgoland und Vergleich mit ausgewählten Stationen weltweit

T. Kruse¹, L. Cristiano¹, D. Becker², C. Hadziioannou², T. Meier¹

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel,

²Universität Hamburg, Institut für Geophysik, Hamburg

Die Meeresmikroseismik (MMS) trägt wesentlich zu dem niederfrequenten seismischen Hintergrundrauschen zwischen 1-20 s bei. Sie wird durch Ozeanwellen am Meeresboden erzeugt und breitet sich vorwiegend in Form von Oberflächenwellen aus. Die MMS teilt sich grundlegend in zwei Frequenzbänder: die Primäre MMS und die Sekundäre MMS. An einigen Stationen ist zusätzlich ein weiteres Frequenzband zu erkennen, die sogenannte Lokale Meeresmikroseismik.

Die primäre MMS, die hauptsächlich im flachen Wasser erzeugt wird, hat in etwa die

Frequenz der Ozeanwellen zwischen 10-20 s. Die sekundäre MMS, die unabhängig von der Wassertiefe entstehen kann, hat die doppelte Frequenz der Ozeanwellen (zwischen 5-10 s). Die lokale MMS wird eher lokal in der Nähe der jeweiligen Station erzeugt und ist am stärksten im Periodenbereich zwischen 1-3 s.

Ziel der Untersuchung war es, die spektralen Eigenschaften der MMS an der Station Helgoland (HLG) mit ausgewählten Stationen weltweit zu vergleichen. Dazu wurden für über 100 Stationen weltweit Spektrogramme berechnet und daraus der zeitliche Amplitudenverlauf der Primären, Sekundären und lokalen MMS abgegriffen. Für die Berechnung wurde jeweils die Z-Komponente der Stationen für mindestens 500 Tage verwendet.

Zunächst wurden die dominanten Frequenzen der zeitlichen Amplitudenänderungen der Mikroseismik untersucht.

Dabei waren bei allen Stationen sehr deutlich jährliche Variationen in allen drei Frequenzbändern zu erkennen. Außerdem ließ sich an der Station Helgoland eine Amplitudenmodulation der Lokalen MMS durch die Gezeiten nachweisen. Darüber hinaus fallen an der Station Helgoland auch zeitliche Variationen mit Perioden von zwei bis drei Jahren auf. Interessanterweise korreliert wiederum die Sekundäre MMS mit den langperiodischen Variationen des Index der NAO (Nordatlantische Oszillation). Dieser ist ein Maß für die Schwankungen des Luftdruckunterschiedes zwischen Azorenhoch und Islandtief. In den Phasen hoher Luftdruckdifferenzen wurde die MMS besonders stark angeregt, während bei geringer Differenz die Amplitude der MMS schwächer war. Weiterhin wurde das Verhältnis zwischen den spektralen Amplituden der Lokalen und der Sekundären MMS untersucht. Es zeigt sich, dass die Sekundäre MMS besonders stark im zentralen Pazifik und Nordatlantik auftritt, während die Lokale MMS vor allem in flachen Randmeeren dominiert, was wir für die Ägäis, das Tyrrhenische Meer sowie für Nord- und Ostsee zeigen konnten.

SO-P1.02

Structural analysis with seismic tomography vote-maps

A. D. Wansing, W. Szwillus, J. Ebbing

Christian Albrechts Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel

Seismic tomographies are a main tool for understanding and analysing the Earth's structure. They provide crucial constraints on seismic velocities, which is commonly related to the density of the Earth. However, different tomography models show different anomaly patterns and amplitudes. Thus, a quantitative interpretation of local anomaly features is strongly dependent on the tomographic model.

Instead of relying on a single tomographic model, the information from different tomography models can be combined using vote-maps. At each pixel it is counted how many of the tomography models show a significant (relative to each model's standard deviation) velocity anomaly. This is done separately for positive and negative velocity anomalies. Here we used 13 S-wave tomographies to calculate votemaps for the whole mantle from 0 km to 2750 km depth.

If a shear-speed variation in a specific area is indicated by a minimum percentage of models (e.g. 60%), the area is classified as an anomaly. From these anomalies connected

areas were extracted and labelled as serially numbered volumes; different selection criteria such as a minimum number of cells in a volume were considered.

These volumes are compared with tectonic maps to identify e.g. subducted slabs. In the lower mantle the well-known pattern of the LLSVP (large low shear-wave velocity provinces) are observed in almost all models, hence they are also observable in the volumes of the negative velocity anomalies. From the mid - to upper mantle depth the volumes of the positive anomalies are mainly distributed underneath the continents, the negative ones below the oceans. Moreover, the velocity anomaly patterns can be related to density anomalies via gravity modelling.

SO-P1.03

Towards optimizing source location accuracy with time reverse imaging

C. Werner^{1,2}, E. H. Saenger^{1,2}

¹Internationales Geothermiezentrum Bochum, Hochschule Bochum, Bochum,

²Ruhr Universität Bochum, Bochum

Time Reverse Imaging (TRI) can be used to locate and characterise seismic sources. Since TRI uses the whole waveform of recorded traces, no identification of onset times of events is necessary. Additionally, the method does not require a priori knowledge about the events (e.g. exact occurrence time). However, a sufficiently correct velocity model is needed. Conclusively, TRI is especially suited for locating quasi-simultaneous events and those with a low signal-to-noise ratio.

The method of TRI is based on the time invariancy of the elastic wave equation in elastic media and on source-receiver reciprocity. Recorded traces are reversed in time and reinserted in the model at the positions they were recorded at. The time-reversed wavefield then back propagates through the medium and focuses on the original event position.

In this study, we review different modifications of the general TRI workflow to optimize the location accuracy of seismic sources in an example site at the San Andreas Fault in southern California, where the velocity model is rather complex and stations are placed irregularly.

A high number of synthetic simulations were performed to identify the effect different modifications of the TRI workflow have on the location accuracy. Therefore, we introduce an evaluation of location accuracy for source imaging methods that incorporates the size of the focus. The location accuracy is then used to evaluate the possible modifications of TRI to optimize source locations.

SO-P1.04

Quantifying the composition of ambient seismic noise using three-component beamforming

K. Lörer¹, N. Riahi², E. H. Saenger^{1,3}

¹Hochschule Bochum, Internationales Geothermiezentrum, Bochum,

²Schweizerische Bundesbahnen SBB, Bern, Schweiz, ³Ruhr-Universität Bochum, Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik, Bochum

Beamforming is an array technique that provides the frequency-dependent velocity and propagation direction of a seismic wave crossing the array in a given time window. If all three components of the seismic signal are recorded, also the polarization of the wave can be estimated from the energy distribution among the vertical and horizontal components. From the polarization, different types of waves, such as Rayleigh and Love waves, P and SV waves, can be distinguished. Applying three-component (3C) beamforming to the ambient seismic noise wavefield allows us to analyse its composition. In particular, we quantify the number of surface and body waves detected at the array location during the recording time and process different phases separately.

For surface waves, we measure seismic velocities of different wave types in different frequency bins. Since the frequency is inversely proportional to the sampled depth, the obtained surface wave dispersion curves can be inverted for vertical velocity profiles that describe a lateral average of the array region. The feasible frequency range, and hence the sampled depth, is constrained by the array aperture as well as the inter-station spacing within the array. In addition, we obtain a direct measurement of the direction of arrival of the recorded wave. These pieces of information are then combined to estimate azimuthal anisotropy of surface waves.

While it is often assumed that ambient seismic noise consists predominantly of surface waves, we can show that at certain frequencies a considerable number of body waves is detectable within the noise wavefield. 3C beamforming differentiates between P and SV waves and provides the direction of arrival, the incidence angle, and the velocity of the respective wave at the array location.

We thoroughly introduce the method of 3C beamforming, comment on prerequisites and limitations, and show examples from different arrays that demonstrate the variability of ambient noise composition in terms of surface and body wave content.

SO-P1.05

Resolving the velocity structure of the Ligurian Sea using ambient noise techniques on OBS data

F. N. Wolf¹, A. Dannowski¹, D. Lange¹, H. Kopp¹, A. Paul², W. Crawford³, I. Grevemeyer¹, M. Thorwart⁴

¹GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research, Kiel,

²Institut des Sciences de la Terre, Grenoble, France,

³Institut de Physique du Globe de Paris, Paris, France,

⁴Kiel University, Kiel

Little is known about the causes and evolution of the proposed subduction polarity change at the Alps-Apennine transition. Furthermore, the transition from continental to oceanic domains in the Ligurian Sea, representing the continuation of the Alpine front, is poorly resolved. To address these questions we used data from 23 broadband ocean bottom seismometers (OBS) deployed in the Ligurian Sea in June 2017 and recovered in February 2018. The objective is to contribute to the questions above using ambient noise techniques to compute surface wave phase velocity maps.

Since OBS data includes signals of waves travelling through solid earth and the water column, we use an approach to enhance the solid earth Rayleigh wave by removing the compliance – infragravity waves travelling in the water column. Furthermore, we correct for instrument tilt prior to cross-correlating the continuous waveforms. The correction is done by calculating transfer functions between hydrophone, both horizontal and vertical seismometer component and removing coherent signals. This provides a vertical component reduced for infragravity waves, therefore better exhibiting solid earth waves. Afterwards, daily cross-correlation-functions are calculated and stacked for every station pair. We evaluate the degree of tilt and infragravity wave removal and discuss the influence of the noise removal on the cross-correlation-functions.

After stacking the daily cross-correlation-functions, the frequency-dependent phase velocity of the Rayleigh waves will be calculated and we discuss the phase velocities which will ultimately contribute to a surface wave velocity maps.

SO-P1.06

Mikroseismizität in Hessen - Die Erdbebenserie bei Bad Schwalbach im Taunus

B. Homuth

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, Wiesbaden

Seit Januar 2018 kommt es in der Nähe von Bad Schwalbach im Taunus an der hessisch-rheinlandpfälzischen Grenze zu einer erhöhten seismischen Aktivität mit einer ungewöhnlich großen Anzahl von Erdbeben. Während der Zeit von Januar bis Dezember 2018 konnten 125 Erdbeben mit Magnituden von $M_L = 0,0$ bis 2,5 aufgezeichnet werden. Ca. 80 weitere kleine Ereignisse konnten detektiert werden, aufgrund von fehlenden Stationen in der näheren Umgebung jedoch nicht lokalisiert werden. Die Hypozentren innerhalb dieses Erdbebenclusters sind mit zunehmender Tiefe schräg in Südwest-Richtung einfallend ausgerichtet. Sie erstrecken sich über einen Tiefenbereich von 9 bis 19 km mit einer lateralen Ausdehnung von etwa 6 km. Im Vergleich zur Erdbebenserie im Odenwald der Jahre 2014 und 2015 ist die Anzahl der Ereignisse etwas geringer und

es fehlt ein klares stärkeres Hauptereignis (mainshock). Ob es sich um eine Erdbebenserie oder mehrere Erdbebenschwärme handelt ist noch nicht abschließend geklärt. Im Unterschied zur Erdbebenserie im Odenwald ist die seismische Aktivität im Taunus auf ein größeres Gebiet verteilt und wird nach Nordosten und Nordwesten durch weitere angrenzende aktive Erdbebenherde fortgesetzt.

Zur Untersuchung der Eigenschaften der Erdbebenaktivität im Taunus wurden Absolut- und Relativlokalisierungen durchgeführt. Zur Bestimmung der Bewegungsrichtungen wurden Herdflächenlösungen anhand von Polaritäten von Ersteinsätzen und Amplitudenverhältnissen von horizontalen und vertikalen Komponenten erstellt. Es konnte ein schrägaufschiebendes Spannungsregime festgestellt werden. Die Ereignisse weisen ähnliche Wellenformen mit sehr hohen Korrelationsfaktoren auf. Eine Besonderheit stellen die für diesen Erdbebenherd typisch auftretenden Signalformen dar, welche durch sehr schnell aneinander gereihte, oft überlappende, Ereignisse charakterisiert werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden dargestellt. Weitergehende Untersuchungen in Bezug auf eine verbesserte Detektion mittels Wellenformkorrelationsdetektoren, verbesserte Herdflächenlösungen und verbesserter Relokalisierung sind für das Jahr 2019 geplant.

SO-P1.07

Characterisation of recent microseismic activity in southwestern Germany

J. Zeiß, S. Stange, A. Brüstle, M. Hensch

Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Landeserdbebendienst Baden-Württemberg, Freiburg

The Zollernalb and the eastern Eifel are well-known as seismically active regions in southwestern Germany. Since 2000 more than 500 microearthquakes with magnitudes up to $M_l=4.4$ are located on the Zollernalb along the nearly N-S striking Albstadt shear-zone, and along a SW-NE trending area ranging from Balingen up to Dusslingen (S of Tuebingen). In the eastern Eifel, also at least 300 microearthquakes ($M_l < 3$) are observed along the NW-SE striking Ochtendung fault since 2011.

In the last years, the seismometer networks have been continuously densified by the local surveys (Erdbebendienst Südwest and cooperating surveys) and especially in the eastern Eifel complemented by temporary networks of Karlsruhe Institute of Technology and Geoforschungszentrum Potsdam. This enables the observation of the seismic activity with increasing detail. For instance, a 2-day swarm of at least 100 events with $M_l < 1.6$ has been identified in the central part of the Albstadt shear-zone in October 2018. In the eastern Eifel, besides the seismic activity along the Ochtendung fault, several sequences with up to 50 events have been identified near the Laacher See volcano and have been attributed to magmatic processes by Hensch et al. (2019).

To gather structural details of the hypocenter distributions, we perform relative location methods using local 1-D velocity models. Furthermore, b-values of the Gutenberg-Richter law are estimated and, if possible, focal mechanisms are determined. The results are jointly assessed to reveal the individual characteristics of the study areas.

SO-P1.08

Phase and Amplitude Measurements of Fundamental Mode Surface Wave Fields

M. Tesch, T. Meier

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

Large seismic arrays like AlpArray allow to measure fundamental mode wave fields, in particular perturbation in its phase and amplitude fields. To accurately observe surface wave fields, it is necessary to separate fundamental mode signals from higher modes, noise, and coda waves in order to achieve undistorted results. We present an approach that is based upon analytically computing synthetic reference waveforms for a reasonable background model, against which the data is being compared on a per frequency basis via correlation and filtering steps. This yields information about how the actual wave field differs locally in phase and amplitude from the reference wave field.

Given the a priori properties of the synthetics, this allows for predictions of the local amplitude and relative phase of the fundamental mode arrivals. We demonstrate several examples of such measurements, both globally and for realistic station distributions. By measuring noisy, multi-mode synthetics we test this method's capability to generally create precise reproductions of the known frequency domain input wave fields, as well as outline potentially problematic, event-dependent frequency and azimuth ranges in which fundamental mode observations might not be possible due to a lack of energy.

Furthermore, we demonstrate a reliable method of spatially unrolling principle value phase measurements over an arbitrary station distribution to determine the absolute phase field.

SO-P1.09

Ambient-noise tomography using the AlpArray network – preliminary results

E. Kästle¹, I. Molinari², L. Boschi³, E. Kissling⁴

¹Freie Universität Berlin, Institut für geologische Wissenschaften, Berlin,

²National Institute of Geophysics and Volcanology, Bologna, Italy,

³Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Geoscienze, Padua, Italy,

⁴ETH Zürich, Institut für Geophysik, Zürich, Schweiz

The AlpArray experiment provides an unique opportunity to study mountain-building processes in the European Alps and to improve our understanding of complex structures such as the Ivrea body in the western Alps and a possible subduction of European crust underneath, the depth continuation of the Giudicarie fault, or the possible indentation of Adriatic lower crust into Europe, related to the exhumation of the Tauern window. To understand past and ongoing tectonic processes we need to link geological observations made at the surface with crustal and upper-mantle features. The short length scale and high variability of these structures makes it necessary to have high-resolution 3D tomographic models of the crust at hand.

Using two years of data collected by the AlpArray seismic network, we are able to obtain

more than 150,000 station-station cross-correlations from which we extract phase- and group-velocity measurements. Compared to previous studies (e.g. 25,000 measurements, Kästle et al., 2018), this is an order of magnitude increase in measurement density, giving us the opportunity to study the crustal shear-velocity structure in the entire Alpine arc with unprecedented resolution. We present first results of our work-in-progress, including the technical aspects of handling such a large dataset and first results of the phase-velocity maps, for both Love- and Rayleigh waves.

SO-P1.10

Untersuchungen der saisonalen Variationen des H/V-Verhältnisses der sekundären Meereseismik an der Station Helgoland

F. Dethof¹, T. Kruse², D. Becker¹, L. Christiano², C. Hadziioannou¹, T. Meier²

¹Universität Hamburg, Institut für Geophysik, Hamburg,

²Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel

Untersucht man das seismische Hintergrundrauschen bei Perioden zwischen 5 und 12 Sekunden, so findet man nahezu überall auf der Welt in diesem Bereich einen Peak im Frequenzspektrum. Dabei handelt es sich um die sogenannte sekundäre Meereseismik (SM), deren Entstehung damit erklärt wird, dass in entgegengesetzte Richtungen propagierende (Ozean-)Wellen gleicher oder annähernd gleicher Frequenz miteinander interferieren, wodurch eine stehende Welle entsteht. Die durch die variierende Höhe der Wassersäule zwischen den Knoten der Welle entstehende Druckvariation wird dann an den Ozeanboden übertragen und somit die SM hervorgerufen.

An der zum GEOFON-Netzwerk gehörenden Station HLG auf Helgoland beobachtet man, dass während Sommerstürmen das H/V-Verhältnis der SM der signifikanten Wellenhöhe bei Helgoland folgt. Dies bedeutet, dass während eines Sturms anteilig mehr Energie auf den Horizontalkomponenten liegt. In den Wintermonaten hingegen ist keine Korrelation zwischen H/V-Verhältnis und signifikanter Wellenhöhe erkennbar. Diese Beobachtung lässt sich konsistent über einen Beobachtungszeitraum von 14 Jahren nachweisen. Ein höheres H/V-Verhältnis wird in der Regel dadurch erklärt, dass der Anteil von Love-Wellen in dem Oberflächenwellenfeld zunimmt. Dies kann einerseits an einem veränderten Quellmechanismus und andererseits an einer anderen Quellregion liegen.

Diese Beobachtung wird mithilfe zweier seismischer Arrays (Gräfenberg und NORSAR) untersucht. Zunächst wird überprüft, ob dieses Phänomen auch auf den dortigen Stationen zu erkennen ist. Dies ist auch der Fall, obwohl zwischen signifikanter Wellenhöhe und H/V-Verhältnis auch eine schwache Korrelation während der Wintermonate festgestellt werden kann. Anschließend wird mithilfe einer Arrayanalyse und einer Triangulation die Quellregionen der sekundären Meereseismik bestimmt. Diese weichen für Sommer- und Wintermonate voneinander ab. Mittels einer Polarisationsanalyse wird das Wellenfeld in Love- und Rayleighwellen zerlegt, um zu untersuchen, ob das erhöhte H/V-Verhältnis tatsächlich durch ein verstärktes Auftreten von Love-Wellen erklärt werden kann.

SO-P1.11

Vergleich des seismischen Rauschens an drei Posthole-Seismometern im Norddeutschen Becken

M. H. Sell¹, C. Weidle¹, D. Schulte-Kortnack¹, A. Omlin², E. Wetzig³, K. Stammer³, T. Meier¹

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel, ²Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig Holstein, Flintbek,

³Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

In den letzten Jahren wurden drei Posthole-Seismometer des Typs Nanometrics Meridian bzw. Trillium20 in Schleswig-Holstein installiert: in Kuden (2017), in Kellenhusen und in Bad Segeberg (2018). Die Installationen unterscheiden sich in Bezug auf ihre technische Realisierung sowie ihren geologischen Untergrund. Die Stationen in Kuden und Kellenhusen sind beide Teil des GRSN und wurden in Kooperation zwischen CAU Kiel, LLUR und BGR erstellt und mit jeweils einem Nanometrics Meridian Posthole-Seismometer mit einer Eigenperiode von 120 s ausgestattet.

In Kuden besteht der Untergrund überwiegend aus lehmigem Sand. Dort wurde ein 7 m tiefes Bohrloch abgeteuft, verrohrt, und ein Zementsockel gegossen, auf welchem das Seismometer in etwa 6m unter Gelände installiert wurde. Das Bohrloch wurde anschließend bis oberhalb des Seismometer versandet. In Kellenhusen ist das Bohrloch mit 10 m etwas tiefer. Zudem ist der Untergrund von zum Teil sehr groben Geschiebemergel dominiert.

Im Rahmen einer Kooperation zwischen CAU Kiel und LLUR konnte zudem im Sommer 2018 ein weiteres Bohrlochinstrument im urbanen Umfeld von Bad Segeberg realisiert werden, ca. 1 km westlich der bestehenden GRSN Station im dortigen Kalkberg und in ungefähr 50 m Entfernung zu einem temporären Oberflächenseismometer. Das Bohrloch in Bad Segeberg ist deutlich tiefer (ca. 20 m), der Untergrund wird ebenfalls von Geschiebemergel dominiert. Allerdings liegt es in einem stark vom Straßenverkehr geprägten Gebiet. An diesem Standort wurde ein Nanometrics Trillium20 Seismometer mit einer Eckperiode von 20 s installiert.

Auf dem Poster wird die Installation der Seismometer beschrieben und es werden Noise-Spektren gezeigt und mit Seismometern an der Erdoberfläche verglichen, um die Reduktion des Rauschens durch Einsatz von Posthole-Seismometern zu untersuchen. Erste Ergebnisse des Vergleichs zwischen dem Bohrlochseismometer in Bad Segeberg mit dem 50 m entfernten Seismometer an der Oberfläche zeigen eine deutliche Reduktion des Noisepegels (von 10 bis 15 dB bei Frequenzen oberhalb von 3 bis 4 Hz). Peaks im Amplitudenspektrum bei Frequenzen zwischen 10 und 15 Hz, welche an der Oberfläche stark ausgeprägt sind, sind in den Bohrlochdaten deutlich reduziert. In Kellenhusen tritt eine signifikante Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses bei Frequenzen oberhalb von ca. 4 bis 5 Hz auf, in Kuden erst bei Frequenzen oberhalb von 10 Hz.

SO-P1.12

Ambient Noise Tomography across the Oman Ophiolite

L. Wiesenberg, C. Weidle, A. El-Sharkawy, T. Meier

Institut für Geowissenschaften, Geophysik, 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 58 seismic stations (40 temporary, 18 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 (#2100). Afterwards we estimate phase velocities for Rayleigh- and Love waves by taking the observed phases from our Green's functions and fitting them to a Bessel function which depends on frequency and phase velocity. With this approach we can calculate phase velocities out of our ambient noise cross correlations in a period range of 2 to 20 s. The results are promising. The phase velocity maps show distinct discrepancies at different periods due to the existence of the ophiolite. The region across the Al-Hajar Mountains, which consist mostly of obducted oceanic lithosphere (partly metamorphous) show consistently higher phase velocities at lowest periods than further south. At higher periods we can observe an increasing velocity to the eastern part of the Oman. This might be explained by a thinner crust and shallower Moho in this area. In addition, we want to show the first results on 1D inversion for selected points in our area by using local dispersion curves derived from the phase velocity maps.

SO-P1.13

Acoustic emissions induced by a hydraulic-fracturing experiment at the Äspö Hard Rock Lab: Continuous vs. progressive injection scheme

P. Niemz^{1,2}, S. Cesca¹, T. Dahm^{1,2}, A. Zang^{1,2}

¹Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, ²Universität Potsdam, Potsdam

Different fluid-injection schemes were studied under controlled conditions during six in-situ, multi-stage hydraulic fracturing (HF) experiments performed at the Äspö Hard Rock Laboratory (Sweden). At a depth of 410 m the fracture growth process from a horizontal injection borehole was investigated using induced seismicity detected with continuous and triggered recording systems. We studied the characteristics of the induced seismicity resulting from two different injection schemes: conventional continuous and cyclic progressive. The latter is used for fatigue hydraulic fracturing, a method developed to mitigate induced seismicity with potential applications in enhanced geothermal systems. A network of 11 piezoelectric borehole sensors covering a volume of approximately 30x30x30 m around the 28 m long injection borehole recorded induced acoustic emissions (AEs). The sensors are most sensitive in the

frequency range of 1 to 100 kHz, but sampling rates were extended to 1 MHz. To extract and characterize high-frequency AEs, we set up a semi-automatic work flow, which relies on waveform based detection, classification and localization procedures. Events are detected in the continuous recordings using a stack-and-delay approach. By applying an additional classifier based on Hidden Markov Models false detections are excluded. Hypocenter locations are provided by an automated full waveform location algorithm based on the stacking of characteristic functions and a coherence analysis. Relative magnitudes are calculated using maximum amplitudes across the network. Using this work flow, we were able to increase the total number of AEs in the catalog from 196 events obtained from triggered recordings to more than 3000 events extracted from the continuous recordings. This allows a refined study of single HF experiments, as well as single fracturing stages and the according rupture process. For the conventional injection experiments the hypocenters are spatially clustered in planar regions, revealing a main fracture plane. The progressive injection scheme generates a diffuse, but smaller cloud of hypocenters. The maximum magnitude induced by the conventional is larger compared to the progressive injection, though the injected volume was similar. A comparison of the frequency-magnitude distributions indicates that the b-value is larger for the seismicity induced by the progressive injection scheme implying an increased number of small events relative to the large ones.

SO-P1.14

The quest for optimal seismometer installation: experiments with three Streckeisen STS-6A seismometers at BFO

R. Widmer-Schmidrig¹, P. Duffner², T. Forbriger³, A. Ringler⁴, R. Freudenmann⁵

¹University of Stuttgart, Institute of Geophysics, Black Forest Observatory (BFO), Wolfach, ²Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Geodetic Institute (GIK), Black Forest Observatory (BFO), Wolfach, ³Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Geophysical Institute (GPI), Black Forest Observatory (BFO), Wolfach,

⁴United States Geological Survey (USGS), Albuquerque Seismological Laboratory (ASL), Albuquerque, New Mexico, United States of America,

⁵Streckeisen GmbH, Pfungen, Schweiz

The Streckeisen STS-1 seismometers in the global seismic network (GSN) are the most sensitive sensors for long-period seismic observations in the Earth's normal mode band. In fact the STS-1 defines the low noise models (NLNM and GSN noise model) at frequencies in the millihertz range. Unfortunately some of these instruments deteriorate from aging and can no longer be maintained. They are out of production since years and maintenance is no longer supported by the manufacturer. The global seismological community for this reason is in search of a capable replacement for the STS-1.

To evaluate the performance of the newest candidate to replace the STS-1 seismometer we have constructed a new concrete pillar in the rear of the BFO mine behind the dual air-lock and drilled three shallow boreholes in this pillar, each 160cm deep and 20cm in diameter. Following the procedure by ASL/USGS we installed one of three STS-6A in a closed bottom 17.5cm diameter stainless steel pipe in the borehole and establish the mechanical contact with the surrounding rock by loosely poured, fine coal slag. The seismometer with its 15cm diameter sits in the dry interior of the pipe and is

surrounded and held in place by more fine coal slag. The other two STS-6As are installed on top of the pillar and shielded similar to standard vault seismometers.

Comparing the three STS-6A we find that the vertical components show very high coherence and that the STS-6A self-noise is only marginally above the STS-1Z self-noise.

For the horizontal components the signals vary significantly on spatial scales of the pillar. The two sensors installed on top of the pillar respond clearly to variations of atmospheric pressure fluctuations outside the mine, while the borehole sensor records only a small fraction thereof.

Since the STS-6A has a Galperin style sensor geometry where the vertical component is obtained by summing the signals of three obliquely oriented sensors, we can infer from the very low noise vertical component, that sensor self-noise is not an issue with the more noisy horizontals. Instead local tilts caused by the deformation of cavities in response to outside air pressure fluctuations must be made responsible. Installation in boreholes as shallow as 160cm and drilled into competent granite deep within the BFO mine seem to significantly reduce this source of noise.

We will report on our experience with different installation methods and on how the new sensors compare with the legacy STS-1 seismometer.

SO-P2.01

The Ahar 2012 earthquake doublet (M_w 6.4 and 6.3): Joint earthquake source optimisation of static and dynamic data

J. Ridderbusch¹, H. Sudhaus¹, A. Steinberg¹, S. Donner², A. Ghods³

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel,

²Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, ³Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan, Iran, Islamische Republik

On the 11 August 2012 a major earthquake hit the region of Ahar in NW Iran with a magnitude of M_w

6.4. Only 11 minutes later a second main shock with M_w 6.3 occurred in the same region, where no earthquakes have been recorded before. The short time interval between these two events does not allow to distinguish between the first and the second earthquake in the available static displacement data. In contrast, in regional waveform data, the second main shock signal is well separated from the first. Here, we see an opportunity for a combined-data study, with the aim to better resolve the individual source characteristics and rupture planes of this earthquake doublet.

We use InSAR data from RADARSAT-2 acquisitions and published co-seismic displacement vectors based on GNSS data. The seismological data are regional and teleseismic waveform recordings. We do a simultaneous finite-source optimisation of the two sources of the earthquake doublet. For the modelling we use Green's functions of a layered regional velocity model and rectangular, constant slip rupture models. For the optimisation we use the python software package *pyrocko*, in particular the module *grond*. The optimisation code implements a Bayesian bootstrap optimisation approach.

Our results so far show a better consistency with the mapped surface faulting, compared to published solutions. This improvement is mainly attained by additionally using static displacement data. Better constrained locations and mechanisms will help to understand the fault system and the current regional stress in this seismically re-activated region.

We acknowledge funding for our research through a DFG Emmy-Noether-Grant and data provision through the RADARSAT-2 SOAR-EU loan agreement #16736 for the SAR data used in this study.

SO-P2.02

Scattering and reflections in the lowermost mantle beneath the Caribbean and South Atlantic

V. Hiemer, C. Thomas

Westfälische Wilhelms-Universität, Institut für Geophysik, Münster

The D" region is characterized by a variety of structures at many different scales, ranging from small-scale scatterers and ultra-low velocity zones with up to 10's of km-sizes to the large-low shear velocity provinces beneath the Atlantic and Pacific. Another prominent structure is the D" reflector that has been found in many regions.

The focus of this study is on the lowermost mantle where scattering of the PKP phase occurs which arrives as precursors to PKP_{df}. Here the area of interest is the region of and around the Caribbean Sea and Atlantic. To investigate the structure in the lowermost mantle below this region, events in Central and South America from 1991 to 2017 are used with a magnitude of 6 and greater in a depth below 100 km. The data are recorded at stations in a distance of about 120 to 145°, as for example the Kyrgyz Seismic Telemetry Network (KN).

The scattered and diffracted waves in the seismograms are studied in different frequencies to look for changes in amplitude ratios of precursors to PKP_{df} with regard to frequency, direction and distances. We find that precursors to PKP_{df} show a dependency of amplitude with frequency and epicentral distance. In addition the arrival time of precursors shows a frequency and distance dependency, as well. We also test directional dependencies of scattering to test whether scattering could be anisotropic. Beside scattering we also investigate the D" reflector in this region. This reflector has been observed before but we now examine it with different frequencies and test for amplitude and travel time dependency on frequency.

SO-P2.03

Towards automatized moment tensor inversion for small magnitude events in the Alps: Automatized quality control and preliminary focal mechanisms

G. Petersen^{1,2}, S. Cesca¹, M. Kriegerowski², W. G. AlpArray³

¹Deutsches GeoForschungsZentrum, Potsdam,

²Universität Potsdam, Inst. für Erd- und Umweltwissenschaften, Potsdam

With its dense seismological network of more than 600 broadband stations, the European AlpArray initiative provides the opportunity to obtain better insights into regional seismicity patterns as well as into source processes of single earthquakes.

Within the scope of the AlpArray subproject “From Top to Bottom – Seismicity, Motion Patterns & Stress Distribution in the Alpine Crust” we intend to investigate the geodynamic processes which control the weak to moderate seismicity of the Alps.

While the large number of stations within the AlpArray enables detailed studies over a broad region, quality control for such a dataset remains a major challenge. To perform automatized, waveform based seismological studies aiming for magnitudes or source process inversion it is crucial to identify network stations with erroneous transfer functions, gain factors or component orientations. We present a new tool dedicated to automated station quality control of dense seismic networks and arrays: The AutoStatsQ toolbox evaluates the quality of waveform data using automatically downloaded data and metadata of selected teleseismic events (Petersen et al., submitted to SRL). Relative gain factors, sensor orientation corrections and reliable frequency bands for moment tensor inversions are provided for all stations in a chosen time period. The results of the toolbox for the AlpArray seismic network were used to inform network operators. We plan to integrate the toolbox into a framework for automated moment tensor inversions for the Alps. On the basis of the automated quality control we want to discuss the challenges of moment tensor inversions for weak events and present a preliminary setup and results for an automated approach.

SO-P2.04

Towards deep learning based seismology: A CNN for detection and localization of swarm events

M. Kriegerowski¹, G. Petersen^{1,2}, H. Vasyura-Bathke¹, M. Ohrnberger¹

¹Universität Potsdam, Inst. für Erd- und Umweltwissenschaften, Potsdam,

²Deutsches GeoForschungsZentrum, Potsdam

For the analysis of a rapidly growing global seismological dataset, new automated processing techniques become increasingly important. Although still in its infancy in the field of seismology, neural networks promise to provide new opportunities for seismological tasks like event detection, localization and characterization. Here we want to present a deep convolutional neural network that was trained to predict hypocenter locations efficiently (Kriegerowski et al., 2018). While neural networks in seismology have so far mostly been trained using single-station records or based on extracted features, we use three-component data of an array of stations directly. The preparation of data does not require any expert knowledge. As a test case, we trained our CNN using more than 2000 earthquake swarm events from West Bohemia, recorded by nine local three-component stations. The CNN successfully located 908 validation events with standard deviations of 56.4 m in east–west, 123.8 m in north–south, and 136.3 m in vertical direction compared to a double-difference relocated reference catalog. During training, the first convolutional layer of our deep convolutional neural network (CNN) becomes sensitive to features that characterize the waveforms it is trained on. We show that this layer can therefore be used as an event detector.

SO-P2.05

Momententensorinversion von seismologischen Daten aus dem Bereich der Lausitzer Bergbaufolgelandschaft

A. Börnchen¹, S. Cesca², F. Hlousek¹, S. Buske¹, R. Mittag¹

¹TU Bergakademie Freiberg, Geophysik, Freiberg, ²GFZ German Research Center for Geosciences, Potsdam

Die Momententensorinversion (MTI) wird in dieser Arbeit erstmals für Sprengungen und spontane Verflüssigungsereignisse innerhalb der Bergbaufolgelandschaft Niederlausitz durchgeführt und hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit überprüft. Geprüft wird auch, ob sich Volumenänderungen durch an der Erdoberfläche nachgewiesene Ereignisse genau genug berechnen lassen, um dies auch für Ereignisse zu tun, deren Ausmaß unbekannt ist. Die locker gelagerten und stark wassergesättigten Sande werden im Augenblick des Ereignisses im Ereignisbereich zur Suspension. Dies erschwert es, die für die Berechnung der Volumenänderung benötigten, Lamé-Konstanten zu bestimmen. Auf Grund der sehr geringen Tiefe der Ereignisse von 20 m bis 30 m, entspricht die Wellenausbreitung nicht der in einem Vollraum und wird durch die nahe freie Oberfläche komplexer und schwieriger zu modellieren. Das Signal Rausch Verhältnis leidet unter den geringen Momenten-Magnituden von $M_w = -0,252$ bis $M_w = 0,033$. Zusätzlich erfordern alle seismischen Daten eine aufwendige Bearbeitung bevor sie für die Inversionsrechnung mit "rapidinv" geeignet sind.

Die MTI wird erfolgreich für Einzelsprengungen und die ersten beiden Sprengungen einer Tripolsprengung durchgeführt. Der berechnete volle Momententensor und seine Zerlegung in den isotropen, DC und CLVD Anteil entsprechen einer Explosion. Die isotropen Anteile am vollen Momententensor liegen zwischen 36 % und 64 % und die nicht DC Anteile zwischen 60 % und 94 %. Die aus dem isotropen Tensor berechnete Volumenänderung der Einzelsprengungen wird durch unabhängige, auf der Auswertung von Videomaterial der Sprengungen basierenden, Berechnungen der BIUG GmbH bestätigt.

Für die dritte Sprengung der Tripolsprengung und ein spontanes, an der Erdoberfläche sichtbares, Verflüssigungsereignis ist die MTI nicht erfolgreich. Das Berechnen von Volumenänderungen von, an der Erdoberfläche nicht sichtbaren, Verflüssigungsereignissen ist daher nicht durchführbar. Dabei ist nicht die geringe Tiefe oder schwache Momenten-Magnitude der Grund des Scheiterns, sondern, dass sich in den Spuren dieser Ereignisse entweder Signale mehrerer Ereignisse mit unterschiedlichen Herdorten oder ein Ereignis, welches sich kontinuierlich fortsetzt, abbilden. Für diese Art von Problem ist der Automatismus "rapidinv" ungeeignet.

Die MTI ist geeignet Sprengungen in Bergbaufolgelandschaften zu charakterisieren, versagt aber bei hochkomplexen Bruchvorgängen wie spontanen Verflüssigungsereignissen.

SO-P2.06

The May 2018 earthquake swarm in Vogtland/NW-Bohemia: Spatio-temporal evolution and focal mechanism determinations

L. Barth¹, T. Plenefisch²

¹Leibniz Universität Hannover, Institut für Geologie, Hannover, ²BGR Hannover, Hannover

Vogtland/NW-Bohemia, an area at the border between Germany and Czech Republic, is known as one of the most interesting earthquake swarm regions in Europe. This special type of seismicity is expressed by the accumulation of a huge number of events of similar magnitude and their episodic reoccurrence. During a swarm hundreds or thousands of earthquakes without a distinct main shock occur spatially and temporally clustered.

The most recent swarm of 2018 occurred between the 10th of May and the beginning of September with the main swarm activity in May. With more than 1000 located events and magnitudes up to 3.8 it is one of the most prominent swarms during the last decades. Due to the strength of the swarm and the increased number of stations in the Vogtland/NW-Bohemia region the swarm of 2018 offers various possibilities to investigate the peculiarities of swarms and the special seismotectonic situation of the Vogtland/NW-Bohemia region.

This study concentrates on the spatio-temporal evolution of the swarm and on the determination of earthquake focal mechanisms. We analyse the interevent times of the individual events as well as the magnitude frequency distribution. Focal mechanisms for all events with magnitudes $ML \geq 3.0$ have been calculated. The ensemble of focal mechanism is analysed with respect to variations within the swarm as well as changes with respect to the mechanisms of the former swarms. Most of the focal mechanisms represent strike slip mechanisms with a normal faulting component. The strike direction of one nodal plane (almost N-S) reflects the strike of the Marianske Lazne fault zone and parallel striking fault systems. The focal mechanisms are used to invert for the regional stress field which then is compared to the stress field in Central Europe.

SO-P2.07

Multi-array teleseismic backprojection guiding source modelling for segmented ruptures

A. Steinberg¹, H. Sudhaus¹, S. Daout², F. Krüger³, S. Heimann⁴, M. Isken¹, H. Vasyura-Bathke³

¹Christian-Albrechts-Universität, Institute of Geosciences, Kiel,

²University of Oxford, Department of Earth Sciences, Oxford, United Kingdom,

³Universität Potsdam, Institut für Geowissenschaften, Potsdam,

⁴Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam

Earthquakes rupture often in complex fault patterns and many ruptures have been reported as being segmented. Not only large earthquakes above $Mw7$ show segmented rupture, also for earthquakes below this magnitude segmentation has been found. While resolvability of segmentation and complexity of faults depends on the spatial scales of the observations and their resolution, it is often set arbitrarily in earthquake source modelling. Consideration of potential rupture segmentation has however an effect on

the earthquake source inferences. To form segments, significant differences along the fault need to be apparent, e. g. expressed by differences in geometry and/or spatial separations with gaps, steps and bends.

We seek data-driven ways to take the source model complexity into consideration for earthquake source models. We therefore optimize for the source complexity and the source parameters together in a Bayesian optimization framework, guided by an informational criterion. We make use of geodetic near-field data from Sentinel-1 and Envisat satellites and GNSS stations, while for the far-field the data teleseismic waveforms are used. Our case studies are the 2016 Muji (Pamir) and the 2009 Qaidam (Tibet) earthquakes.

To further constrain the source complexity we use the information gained by time-domain backprojection, where we use a multi-array backprojection approach which suppresses imaging artifacts. Backprojection has proven to be a powerful tool to not only infer the rupture area and development from teleseismic data but also to identify irregularities of the rupture process in time. Coherent high frequency energy has been shown to emit during the rupture process at geometrical boundaries and where rupture start, stop and jump. This makes backprojection an informative tool to quantify the need for rupture segmentation on a physical basis.

Identifying rupture segmentation objectively helps us to get a better understanding of the rupture process. Consideration of rupture segmentation is also important for hazard assessments and other downstream analyses, like local stress field inversions. This work is funded by DFG through an Emmy-Noether project.

SO-P2.08

Testing a simple, self-similar dynamic rupture model

M. Metz¹, S. Heimann², T. Dahm^{1,2}

¹Universität Potsdam, Potsdam,

²GFZ German Research Centre For Geosciences, Potsdam

Retrieving the space-time history of earthquake rupture in a robust and systematic manner, and if possible within short time after the earthquake, is a key question in seismology and important for seismic hazard, early warning and damage assessments. A critical point to reach this goal is to develop physics-based rupture models which depend on few parameter only, so that non-uniqueness is reduced and the uncertainty estimation is feasible.

We assume a self similar quasi-static crack growth and slip distribution, similar to the circular crack model of Sato and Hirasawa (1973). The slip distribution is, however, calculated with a numerical boundary element approach instead of an analytical equation, which opens the possibility to consider arbitrary shapes of the rupture front. The rupture front itself is approximated by iteratively solving the Eikonal equation with a space dependent rupture velocity (Müller and Dahm, 2000; Heimann, 2010), equivalent to the solution of seismic rays in 2D problems. Imposing the rupture velocity and shear stress on the rupture plane

in advance, the Eikonal model's free parameters only fix the geometry of the rupture surface and the location and time of the nucleation. For the sake of simplicity, the rupture velocity is related by a constant factor to the shear wave velocity in the rock. Although the model has few free parameter, it is flexible to realize very different rupture and slip scenarios. We present first synthetic tests and discuss strength and weaknesses of the suggested method.

SO-P2.09

Imaging the Leipzig-Regensburg-Zone (East Germany) applying moment tensor inversion to low magnitude local earthquakes

L. Sonnabend, S. Funke, M. Korn

Universität Leipzig, Insitut für Geophysik und Geologie, Leipzig

The Leipzig-Regensburg-Zone (LRZ) is a region of increased seismic activity in eastern Germany. Since the year 2000 the universities of Leipzig and Jena together with Saxon State Office for the Environment, Agriculture and Geology and Thuringian Regional Office for the Environment and Geology established a dense regional seismic network. From this network a comprehensive seismological database has emerged with a magnitude completeness of ML -0.5. The largest observed earthquakes had magnitudes of ML 3.5, although there are records of historical earthquakes near the city of Gera with estimated magnitudes ML 5. In contrast to the NW-SE striking major tectonic features in the region of central Germany, the earthquake distribution of the LRZ is along N-S direction in a 40 km broad strip that is not related to a single major fault. The LRZ could be seen as an extension of the highly seismic active Eger-Rift in the north west of the Chech Republic, but the source characteristics are quite different. It lags the typical earthquake swarms and the sources tend to be deeper.

Moment tensor solutions are well established in global seismology and an optimal tool to better understand source mechanisms. Nevertheless, it is difficult to get stable moment tensor solutions for low magnitude local earthquakes. Our aim is to calculate moment tensor solutions below ML 2.0. In order to get results with good error estimations we use the Grond-package based on the Pyrocko-tool-box developed by Sebastian Heimann (GFZ-Potsdam). This package is based on a bootstrap algorithm to calculate the moment tensor solutions and provides an excellent estimation of the solution errors, but is computationally demanding. So far, we are able to gain stable solutions down to ML 1.4. For the inversion of events below ML 3 it has proven to be advantageous to use not only P- and S-waveforms but also the amplitude spectra as an inversions target. The resulting high quality moment tensor solutions will enable us to perform stress analysis of the area and provide new insights in the earthquake and fault dynamics of the Leipzig-Regensburg-Zone. Therefore, it will be useful for improving hazard assessment in this region.

SO-P2.10

Bewertung der Anwendung eines automatischen AR-Pickers auf einen globalen Datensatz

J. Stampa, K. Olbert, L. Christiano, T. Meier

Christian-Albrechts-Universität, Institut für Geowissenschaften, Kiel

Es wird ein AR-AIC-Picker erweitert, und auf einen globalen Datensatz, mit über 5000 Stationen und Aufnahmen aus einem Zeitraum von 1990 bis 2014, angewandt. Das Ergebnis sind etwa 1.5 Millionen bestimmte P-Wellen-Ersteinsätze und etwas weniger als 0.8 Millionen bestimmte S-Wellen-Phasenankünfte. Für Picks der höchsten Qualitätsklasse (42.5% der P-Picks, 38.4% der S-Picks) werden die mittleren Fehler zu 0.37 s (P), respektive 1.79 s (S), abgeschätzt. Es wird ausserdem dargelegt, dass diese Fehler zufällig und auf Null zentriert verteilt sind, und deshalb kaum in die Berechnung einer Tomographie propagieren.

SO-P2.11

Review and improvement of the databases to be used in seismic hazard assessment of Bangladesh

A. Azari Sisi, D. Kaiser, T. Spies, J. Schlittenhardt

Bundesanstalt für Geowissenschaft und Rohstoffe, Hannover

Different geo-hazards are investigated in the framework of the German-Bangladesh technical cooperation project: "Geo Information for Urban Planning and Adaptation to Climate Change (GPAC)". Seismic hazard assessment is one focus of the project.

Bangladesh is located close to the boundaries of the complex convergence of Indian and Eurasian plates to the north and to the east. These collision and subduction processes have caused large historical earthquakes also intraplate in Bangladesh (e.g.: 1885 Bengal Earthquake M7 and 1918 Srimangal Earthquake M7.6). Therefore, it is crucial to assess seismic hazard which then will be considered in urban planning of Bangladesh.

Significant parts of databases in seismic hazard assessment are paleoseismological investigations, earthquake catalog and spatial distribution of seismic sources.

Compilations of faults derived from classical tectonic analyses indicate that most of the active faults are located in the northern and eastern boundaries of Bangladesh as expected. The recurrence parameters and maximum magnitudes of some of the active faults are derived by paleoseismological investigations.

Like in other countries, the earthquake catalog of Bangladesh is structured according to the use of modern instruments from 1963, the use of early instrumentation from 1900 on and collections of historical macro-seismic data. However, due to the sparse seismic network with only few stations on deep sedimentary basins, the detection threshold for seismic events is high compared to regions like Europe or China. Also only few historical seismic events were documented before 1900. Hence, completeness of the catalogue as a function of magnitude and time as well as declustering of events are significant properties to be taken into account for seismic hazard assessment. These two features and their effect on magnitude-frequency relationships are explored in the case of the earthquake catalog of Bangladesh.

The spatial distribution of seismic sources (areal seismic sources) are identified based on cluster of major events and location of tectonic faults. Gutenberg-Richter law is taken as the magnitude-frequency relationship of the areal sources and its parameters are derived using declustered earthquake catalog with completeness analysis.

UI-1.01

Abschätzung der räumlichen Verteilung horizontaler Fließgeschwindigkeiten mithilfe wiederholter Georadarmessungen

N. Allroggen¹, D. Beiter², P. Koyan¹, J. Tronicke¹

¹Universität Potsdam, Institut für Geowissenschaften, Potsdam,

²Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 5.4: Hydrologie, Potsdam

Fließgeschwindigkeiten in der vadosen Zone sind eine entscheidende Größe für das Verständnis der hydrologischen Prozesse auf der Hangskala. Um die auf dieser Skala stattfindenden Prozesse besser zu verstehen werden normalerweise Beregnungsexperiment durchgeführt. Die Analyse dieser sehr aufwendigen Experimente beruht in den meisten Fällen auf der Auswertung der Ankunftszeit chemischer Tracer oder auf punktuellen Feuchtemessungen. Keine dieser Methoden kann jedoch eine zeitlich und räumlich kontinuierliche Information über die während einer Beregnung stattfindenden Prozesse liefern. Die Entwicklung zerstörungsfreier geophysikalischer Methoden zur zeitlich- und räumlich kontinuierlichen Messung der Fließgeschwindigkeiten ist darum ein wichtiger Schritt für ein besseres Verständnis der hydrologischen Prozesse auf der Hangskala.

Um die Anwendbarkeit des Georadarverfahrens zur Informationsgewinnung bei solchen Experimenten zu demonstrieren, haben wir ein hydrologisches Infiltrationsexperiment mit Georadarmessungen begleitet. Dazu wurde auf einem bewaldeten Hang in den Luxemburger Ardennen ein Infiltrationsexperiment durchgeführt. Dazu wurde ein Graben mit Wasser gefüllt, welches lateral und vertikal infiltrieren kann. Unterhalb dieses Infiltrationsgrabens wurden wiederholt entlang von vier Profilen Georadardaten gemessen. Aus der Analyse der Änderungen zwischen diesen Profilen können die durch das infiltrierende Wasser hervorgerufenen Änderungen detektiert werden. Aus der zeitlichen Abfolge dieser Änderungen lassen sich Rückschlüsse auf die horizontalen Fließgeschwindigkeiten ziehen. Unsere Daten zeigen ein erstes Bild der räumlichen Verteilung der Fließgeschwindigkeiten. Durch die mehrfache Durchführung des Infiltrationsexperimentes zeigen sich außerdem die Auswirkungen verschiedener Startbedingungen, beziehungsweise, die Anforderungen an Datenqualität und Wiederholbarkeit solcher Experimente unter natürlichen Bedingungen. Durch den Vergleich der Ergebnisse der Georadardaten mit klassischen hydrologischen Messungen können weiterhin die Georadaregebnisse mit klassischen Verfahren verglichen werden.

UI-1.02

Gleichstromtomographie zur Charakterisierung der Grundwassersituation in der Umgebung einer Grundwasserfassung

J. Hugenschmidt¹, P. Hardegger², G. Morf²

¹Institut für Bau und Umwelt, Hochschule für Technik Rapperswil, Rapperswil, Schweiz, ²Hochschule für Technik Rapperswil, Institut für Bau und Umwelt, Rapperswil, Schweiz

Nachdem im Rahmen des Hochwasserschutzes in Kombination mit den gesetzlich vorgeschriebenen Revitalisierungen diverse Massnahmen in der Linthebene/CH ergriffen worden waren, ergaben sich teilweise unvorhergesehene Probleme in einer

Grundwasserfassung. So senkte sich beispielsweise der Grundwasserspiegel ab und die Wasserqualität des im Trinkwasserbrunnen geförderten Wassers veränderte sich ebenfalls gleichzeitig betreffend einzelner Parameter. Beides wäre durch die Existenz eines ehemaligen und hydraulisch gut durchlässigen Flussaltarms erklärbar, eine derartige Struktur war jedoch in neueren zusammenfassenden Fachunterlagen nicht vorhanden. Deshalb wurde nun die Umgebung der Grundwasserfassung mittels Gleichstromtomographie untersucht. Dabei erwies es sich als besonders nützlich, dass auch Daten im Bereich eines bekannten Altarmes aufgezeichnet und ausgewertet werden konnten. Die dort deutlich von der Umgebung abweichenden elektrischen Leitfähigkeiten konnten auch in anderen Abschnitten nachgewiesen werden, was als deutlicher Hinweis auf die Existenz weiterer Altarmverbindungen zum nächstgelegenen Oberflächengewässer hin gedeutet werden konnte.

UI-1.03

Oberflächen-NMR im Berliner Stadtgebiet: Proof-of-Concept für die Anwendung der Präpolarisation

S. Costabel¹, T. Hiller², T. Radic³

¹Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Berlin, ²Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Hannover, ³Radic Research, Berlin

Mithilfe der Oberflächen-NMR lassen sich Grundwasserstockwerke bis in eine Tiefe von 150 m zerstörungsfrei untersuchen und hydrogeologisch interpretieren. Für oberflächennahe Messungen der Bodenfeuchte in weniger als 1 m Tiefe ist dieses Verfahren jedoch in seiner konventionellen Anwendung ungeeignet. Die Fläche der dazu notwendigen Kabelspulen auf der Erdoberfläche müsste wenige qm betragen und die entsprechend schwachen Messsignale aufgrund des verringerten sensitiven Volumens (wenige nV) könnten das elektromagnetische (EM) Grundrauschen auch mit hohen Stapelraten oft nicht überschreiten. Dies gilt erst recht in urbanen Gebieten mit einer Vielzahl von EM Störquellen. Zwar sind im Bereich der Signalbearbeitung in den vergangenen 10 Jahren entscheidende Fortschritte erzielt worden (z.B. RNC: reference-based noise cancellation), der Durchbruch bei Bodenfeuchtemessungen mittels Oberflächen-NMR wird jedoch in der Realisierung der Präpolarisation erwartet.

Wir benutzen dazu ein Präpolarisations-Modul zur Ergänzung der NMR MIDI (Radic Research), welches für ein paar Sekunden einen Gleichstrom von knapp 20 A erzeugt. Ein kreisförmiges Kupferkabel mit einem Durchmesser von 2 m und 49 Windungen erzeugt ein magnetisches Dipolfeld P_x mit ca. 550 μT im Zentrum der Spule (ca. 200 μT in 1 m Tiefe). Das P_x -Feld führt zu einer Auslenkung und Verstärkung der Protonenspin-Magnetisierung M der Wassermoleküle. Durch die sogenannte adiabatische Abschaltung des P_x -Feldes wird M innerhalb weniger ms wieder im Erdmagnetfeld ausgerichtet, während seine Verstärkung mit T_1 -Zeiten von ca. 0.1 bis 1s deutlich langsamer abnimmt. Eine sich unmittelbar an die P_x -Anregung anschließende konventionelle NMR-Messung führt somit zu einem deutlich verstärkten Nutzsignal aus dem oberflächennahen Bereich der Messspule.

Wir haben auf dem Betriebsgelände der BGR in Berlin Spandau entsprechende Testmessungen über einem Wasserbasin mit ca. 1 m Tiefe durchgeführt. Trotz des erwartungsgemäß hohen innerstädtischen EM Rauschpegels konnte die Signalstärke

aus dem Tiefenbereich bis 0.5 m mithilfe des Px-Feldes sowie der RNC-Filtermethode gegenüber der konventionellen Messung knapp verzehnfacht werden. Dabei waren die Stapelraten mit Px um ein Viertel reduziert (16 Wiederholungen/Pulsmoment: ca. 10 Minuten für eine Einzelmessung). Mit diesem Ergebnis werden sogar kontinuierliche Messungen der Bodenfeuchte in Infiltrationsversuchen mit Oberflächen-NMR möglich. Ein entsprechendes Experiment ist in Planung.

Umwelt- und Ingenieurgeophysik // Poster

UI-P1.01

Seismische Ersteinsatztomographie für Gesteinsproben

A. Morgenstern, H. Konietzky

TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geotechnik, Freiberg

Die innere Struktur in Gesteinsproben hat entscheidenden Einfluss auf das mechanische Verhalten. Unter Nutzung von akustischen Emissionsempfängern und -sendern wird eine seismische Ersteinsatztomographie programmiert. Diese wird Aufschluss über die Beschaffenheit der Probe geben. Zum Testen der Genauigkeit des Programms werden zwei verschiedene Algorithmen zur Bestimmung des Ersteinsatzes implementiert und verglichen. Zum einen handelt es sich um die „Shortest-Path Method“ (SPM) und zum anderen um einen Finite-Differenzen (FD) Algorithmus. Die SPM nimmt zwischen den Gitterpunkten einen geraden Strahlenweg an und ermittelt dadurch den kürzesten Weg der seismischen Welle. Die FD Methode berechnet nicht den Strahlenweg sondern die Wellenfronten vom Sender zu den Empfängern unter Nutzung von Finite-Differenzen Extrapolationen. Nach der Anwendung der Algorithmen auf synthetische Modelle soll die Methode an reellen Daten durch Messungen an verschiedenen Gesteinsproben, teils auch mit vorgefertigten Hohlräumen, getestet werden.

UI-P1.02

Methoden und Strategien zur adaptiven Erkundung und Beobachtung reaktiver Prozesse im Grundwasser

*S. Birnstengel¹, U. Werban¹, S. Klingler², T. Günther³, G. Hornbruch⁴, L. Hu⁴,
A. Dahmke⁴, P. Dietrich¹*

¹Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, Monitoring- und Erkundungstechnologien, Leipzig, ²Eberhard Karls Universität Tübingen, Tübingen, ³Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Hannover, ⁴Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel

Die geotechnologische Nutzung des Untergrundes, beispielsweise als Erdgas- oder Wärmespeicher in Aquiferen, stellt einen maßgeblichen Beitrag zur Versorgungssicherheit dar. Im Gegensatz zur derzeitigen Nutzung des geologischen Untergrundes als Gas- und Wärmespeichermedium steht die geringe Anzahl an Geländeexperimenten, welche unter kontrollierten Randbedingungen zur Abschätzung potentieller Grundwassergefährdung durchgeführt werden. Multidisziplinäre und skalenübergreifende Versuche können hierbei entscheidend zur

Erfassung von petrophysikalischen Zusammenhängen und Abhängigkeiten sowie deren Einfluss auf die Gesamtheit der Grundwasserressource beitragen.

Eine besondere Herausforderung stellt die Manipulierbarkeit der räumlichen Bereiche in Abstimmung auf die Skala des Messsystems dar, ebenso wie die Wiederholbarkeit und Nachprüfbarkeit der Experimente unter heterogenen Bedingungen.

Im Projektverbund TestUM-Aquifer wurden auf Feldmaßstab zwei Testfelder installiert, auf welchen in Zukunft kontrollierte Injektionen reaktiver und "nicht"-reaktiver Gase sowie Tests zur Wärmeinspeicherung bzw. Wärmeentzug im oberflächennahen Untergrund über einen abgegrenzten Zeitraum stattfinden. Zum Quantifizieren petrophysikalischer Zusammenhänge auf den Testfeldern eignet sich die Betrachtung von Sättigungsverhalten und Temperaturverteilung unter Verwendung geophysikalischer Proxys, der elektrischen Leitfähigkeit sowie seismischen Geschwindigkeiten.

Vorabsimulationen zum Ausbreitungsverhalten von Wärme und Gas bieten dabei eine gute Grundlage zur Erstellung eines Untergrundmodells. Auf Basis dieses Untergrundmodells erfolgte die Generierung eines Parametermodells und es wurden Simulationen von Leitfähigkeitsänderungen im oberflächennah beeinflussten Bereich durchgeführt.

Um dabei qualitative Aussagen sowohl zum lateralen als auch horizontalen Änderungsverhalten zu treffen, wurden zu verschiedenen Zeitpunkten neben geoelektrischen Messungen an der Oberfläche auch verschiedene Messkonfigurationen innerhalb und zwischen Bohrlöchern betrachtet. Diese Kombination bietet eine gute Abdeckung verschieden sensibler Bereiche.

Nach Abschluss der Experimente werden die Simulationen mit den Felddaten verglichen und bewertet.

UI-P1.03

Kartierung des Statischen Düngungsversuches in Bad Lauchstädt

E. Lück, J. Guillemoteau

Universität Potsdam, Institut für Geowissenschaften, Potsdam

Der Statische Düngungsversuch in Bad Lauchstädt wurde 1902 mit dem Ziel angelegt, die Wirkung organischer und mineralischer Dünger auf Ertrag und Qualität der Ernte sowie auf die Bodeneigenschaften zu untersuchen. Auf einer Gesamtfläche von etwa 4 ha werden die 265 m² großen Streifen-Parzellen seitdem mit rotierender Fruchtfolge und parzellenspezifischer Düngung bewirtschaftet, wobei sowohl die Mengen als auch die Zusammensetzungen der applizierten Dünger räumlich variieren, zeitlich aber mit wenigen Ausnahmen konstant gehalten werden. Untersuchungen des UFZ weisen sowohl auf deutliche Ertragssteigerungen als auch auf eine zunehmende Differenzierung in den Bodenparametern während des über 100 Jahre andauernden Versuches hin. In der vorzustellenden Studie sollte geklärt werden, inwieweit sich die Auswirkungen der räumlich variablen Düngapplikationen auch mit Hilfe einer geophysikalischen Kartierung des Oberbodens abbilden lassen. Dazu wurden im Oktober 2012 etwa 3 ha dieses Dauerversuches hochauflösend mit dem Geophilus-Messsystem kartiert. Die Erfassung des elektrischen Widerstandes erfolgte mit einer mobilen äquatorialen Dipol-Dipol-Anordnung mit 5 Spannungsdipolen in Abständen zwischen 0.5 und 2.5 m und dem SIP-Messgerät Rabbit von T. Radic. Parallel zum

elektrischen Widerstand wurden die natürliche Gammastrahlung des Bodens über einen Kunststoffdetektor und in einem größeren Raster der volumetrische Wassergehalt des Oberbodens mittels TDR-Sonde erfasst.

Die Karten der elektrischen Leitfähigkeit zeigen eine deutliche Differenzierung mit teilweise scharfen Abgrenzungen zwischen den Einzelparzellen sich unterscheidender Düngerapplikationen. Es zeigen sich erwartungsgemäß deutliche Korrelationen zwischen der elektrischen Leitfähigkeit und der Bodenfeuchte. Die geringsten Widerstandswerte und die höchsten Wassergehalte werden in den nicht oder wenig gedüngten Parzellen beobachtet. Korrelationen mit dem Ertrag belegen den sich darin widerspiegelnden differenzierten Wasserentzug durch die Pflanzen.

UI-P1.04

Abbildung schwacher Vorläufer bei Verflüssigungsereignissen auf der Innenkippe Schlabendorf Süd (Lausitz)

F. Hlousek¹, S. Buske¹, T. Schicht², D. Blumrich², B. Lucke³

¹Institut für Geophysik und Geoinformatik, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg,

²K-UTEC AG Salt Technologies, Sondershausen, ³LMBV mbH, Senftenberg

Geotechnische Ereignisse im Bereich der Innenkippen des ehemaligen Lausitzer Braunkohletagebaus sind eine potentielle und immer wieder auftretende Gefahr. Die auftretenden Setzungsließen und Geländeeinbrüche sind in der Regel die Folge von spontanen Bodenverflüssigungen. 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 zwei Überwachungssysteme bestehend aus insgesamt 26 Seismometern 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 und der Richtung der Oberflächenwellen können diese verwendet werden, um die Herdlage des seismischen Ereignisses zu lokalisieren.

Eine bisher ungeklärte Frage ist, inwieweit solche Bodenverflüssigungsereignisse spontan auftreten, oder ob es bereits vorher seismische Aktivitäten in dem später verflüssigten Bereich gibt. Eine solche Aktivität würde auf geotechnische Vorgänge vor dem eigentlichen Verflüssigungsereignis schließen lassen und so wesentlich zum Verständnis dieser Vorgänge beitragen. In den Daten des Überwachungssystems sind visuell keine Vorläuferereignisse zu erkennen, daher wurde zur Detektion und räumlichen Ortung potentieller schwacher Vorläuferereignisse eine Semblance-Analyse des kontinuierlichen Wellenfeldes an den Messstationen durchgeführt. Mit Hilfe dieser Analyse ist es möglich, die Verflüssigungsereignisse selbst sowie darüber hinaus schwache seismische Aktivität im unmittelbaren Zeitraum vor dem eigentlichen Ereignis nachzuweisen. Es wird diskutiert, inwieweit diese Aktivitäten raum-zeitlich mit dem eigentlichen Verflüssigungsvorgang verbunden sind und als Vorläuferereignisse angesehen werden können.

UI-P1.05

ProSalz – Investigations of the transition zone between cavity and undisturbed salt rocks

H. Richter¹, R. Giese¹, B. Strauch¹, A. Zirkler²

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, ²K+S Aktiengesellschaft, Kassel

The interest in using salt deposits as energy storage space has increased in the last decades because of the transition towards sustainable energy systems. Salt rocks serve as host rock for technical caverns due to their high impermeability. These technical caverns temporarily store energy materials such as natural gas and oil to secure a stable energy supply in the course of fluctuating availabilities from renewables. In order to ensure the long-term integrity and safety of caverns during their operation and abandonment a detailed process understanding of the multiphase system salt-gas-water in the transition zone between cavity and undisturbed salt rocks is required. Within the Geo:N project ProSalz the question of process understanding, scalability and transferability of reactive multiphase transport is being investigated by numerical modelling as well as geochemical and geophysical measurements. Due to the inaccessibility of the cavern walls for in-situ investigations, comparable studies are performed in a salt mine in North Hessen, Germany. In addition to large-scale geochemical experiments, two different seismic surveys are in progress. The main tasks of the first seismic survey is to image the structure of the salt rocks close to a geogenic cavern by travel time tomography, in particular P-wave tomography and P/S-wave tomography in 2D and 3D. The first evaluation of the seismic data showed an average P-wave velocity of 4,60 km/s and an average S-wave velocity of 2,63 km/s in salt rocks. In a second survey, a seismic sensor array are installed around a salt pillar to monitor effects around an artificially created field-test cavern influenced by fluid entries. A further task is to detect the potential migration front of fluids within the salt pillar. Due to the application of a similar seismic measurement system, the results of the field-test cavern can be transferred to geogenic and technical caverns to improve the process understanding of the multiphase transport salt-water-gas in the transition zone between cavity and solid rock.

UI-P1.06

Ultraschalloberflächenmessungen an Wandmalereien: Schleswig und Pompeji

S. Hintz¹, T. Steinkraus¹, L. Cristiano¹, D. Schulte-Kortnack¹, J. Heller², C. Leonhardt², T. Meier¹

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Geowissenschaften, Kiel, ²Werkstatt für Kunst und Denkmalpflege, Kiel

Ultraschalloberflächenmessungen ermöglichen zerstörungsfreie Untersuchungen der Oberfläche von historischen Bauwerken und denkmalgeschützten Kulturgütern. Bisher wurden Messungen am Sandstein der Porta Nigra in Trier, am Marmor der Neptungrotte im Park Sanssouci, an der Skulptur "Nike krönt den Sieger" auf der Schlossbrücke in Berlin und an Sandstein-Epitaphen am Merseburger Dom erfolgreich durchgeführt. Die oberen Millimeter bis Zentimeter eines Objektes können

charakterisiert und so das Ausmaß von z.B. Verwitterung analysiert werden. Im Folgenden wird die erstmalige Messung auf Wandmalereien und Putz vorgestellt. Im St. Petri Dom zu Schleswig wurden an der mittelalterlichen Wandmalerei im Joch 5 insgesamt 64 Ultraschallmessprofile gemessen und an den antiken Wandmalereien in der Villa dei Misteri in Pompeji wurden insgesamt 28 Ultraschallmessprofile gemessen. Als hilfreiche Zustandsgrößen zur Beschreibung des Putzes wurden die Kurtosis der Wellenform und ein gewichteter Mittelwert Kappa eingeführt und angewendet. Mittels Kurtosis kann die Komplexität der Wellenformen quantifiziert werden. Sie sinkt vor allem durch gestreute Wellen, die in intakten porösen Putz verstärkt auftreten. Das Qualitätsmaß Kappa bewertet neben der Kurtosis die mittleren P- und Rayleighwellengeschwindigkeiten. Es ist einfach zu bestimmen und hat sich für die Unterscheidung von intaktem porösen und durch Gipseinlagerungen verdichteten Putz bewährt. Weiterhin werden Spektrogramme zur Auswertung herangezogen und 1D-Tiefenmodelle der Schergeschwindigkeit und der Dämpfung mittels stochastischer Wellenforminversion bestimmt.

Streuungen zeigen sich als charakteristisch für die mittelalterlichen Wandmalereien in Schleswig und höhere Moden für die antiken Wandmalereien in Pompeji.

Ultraschalloberflächenmessungen sind auf Wandmalereien anwendbar und die Messdaten sind reproduzierbar. Mithilfe von Ultraschalloberflächenmessungen können Zustandsgrößen des Putzes erfasst und so der Zustand eines Putzes quantifiziert werden. Untergrundmodelle können trotz der charakteristischen Streuungen des Putzes erstellt werden. Als spezifische Wertebereiche werden für unbeschädigten Putz Rayleighwellengeschwindigkeiten von ca. 1050 m/s, P-Wellengeschwindigkeiten von ca. 1950 m/s und eine Kurtosis von ca. 5 abgeschätzt.

UI-P1.07

The Interreg Topsoil Project: steps to understand nitrate variability in near surface groundwater

U. Noell¹, O. Fishkis², C. Wießner¹

¹BGR, Berlin, ²BGR, Hannover

The Interreg Project TopSoil aims at recommendations for farmers to reduce the risk for nitrate contamination of groundwater by improved agricultural praxis. One investigation target is the identification of spatial heterogeneity in soil properties and conditions for transport of agricultural contaminants leading to heterogeneous loads of nitrate in topmost groundwater within a single agricultural field.

We measured the near surface conductivity using the CMD explorer and mapped the radiation (U, Th, K) at two agricultural fields with shallow (1m) and moderately shallow (2m) groundwater table. We sampled soil and the topmost groundwater for analysis of soil properties and groundwater composition, respectively. At the field with shallow groundwater table we conducted ERT long term monitoring in combination with monitoring of nitrate loads in the seepage flow at 50 cm

The ERT experiment showed exemplary the drying and wetting of the subsoil in this extraordinary dry summer 2018. The very dry topsoil increased the contact resistance of the electrodes and, consequently, ERT data and inversion fit were deteriorating throughout the summer and the situation improved only as the rain started again. We counteracted the problem by variation of inversion parameters. Question remain

concerning the comparability and the reliability of the inversion results.

Nitrate concentration in the topmost groundwater was never under 40 mg/l for the field with a 2m-deep groundwater table but varied between 0 and 177 mg/l for the field with a 1-m deep groundwater table. The varying redox conditions triggered (controlled) the intensity of denitrification process and were therefore responsible for the observed variability in nitrate loads in the topmost groundwater. Further studies are required to understand the reasons for varying redox conditions at this site.

UI-P2.01

Kontinuierliche Überwachung von Temperaturfeldausbreitung mit Geoelektrik und Georadar - erste Ergebnisse am Beispiel des trockenen Sandkörpers „Geomodel-Kiel“

S. L. Fischer¹, E. Erkul¹, M. Gräber², C. Reimers¹, S. Attia al Hagrey¹, W. Rabbel¹

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Geowissenschaften, Kiel,

²GeoServe - Angewandte Geophysik, Kiel

Das Forschungsvorhaben ANGUS II ('Auswirkungen der Nutzung des geologischen Untergrundes als thermischer, elektrischer oder stofflicher Speicher') beschäftigt sich mit der Energiespeicherung in oberflächennahen und tieferen Gesteinsschichten. In einer Zukunft der erneuerbaren Energien ist sie essenziell für eine stabile Energiebereitstellung. Eine Variante ist dabei die Wärmespeicherung im Untergrund. Um die Chancen und Grenzen dieser Speicherart abschätzen zu können, werden an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel geothermische Versuche an einem künstlich angelegten und idealisierten Sandkörper, Geomodel-Kiel, durchgeführt. Als Wärmequelle dient eine Wärmepumpe, die im Sandkörper zentral installiert ist. Zur Überwachung des zur Zeit relativ trockenen Sandkörpers werden Temperatur- und Feuchtemessungen, wie auch Geoelektrik- und Georadarmessungen durchgeführt. Ziel der Geophysik ist es die Temperaturfeldänderungen in den elektrischen und elektromagnetischen Parametern in 3D möglichst mit großer räumlicher und zeitlicher Abtastung zu untersuchen. Dazu werden zahlreiche unterschiedliche Bohrloch-Geoelektrik-Konfigurationen auf ihre Auflösung, Reproduzierbarkeit und Geschwindigkeit getestet. Auch für das Georadar werden verschiedene Mess-Geometrien erprobt, darunter oberflächen-parallele Transmission zwischen zwei Bohrlöchern und Messungen mit schrägen Strahlwegen von der Oberfläche zum Bohrloch. Sowohl die Bohrlochelektrik- als auch die Georadarmessungen werden dabei mit vorherigen Erkenntnissen, auch aus Bohrungen, verglichen. Es stellt sich heraus, dass die Ergebnisse der Geoelektrik weitgehend mit den vorgehenden Untersuchungen übereinstimmen. Es gibt ein Gefälle des elektrischen Widerstands von der Oberfläche (ca. 1500 Ωm) zu mittleren Tiefen des Geomodells (ca. 600 Ωm). Die Reproduzierbarkeiten der Konfigurationen fallen dabei unterschiedlich aus. Aus den Georadar-Messungen lassen sich Ausbreitungsgeschwindigkeiten der elektromagnetischen Wellen zwischen 13-14 cm/ns in mittleren Tiefen und 15-16 cm/ns an Oberfläche und Unterkante des Geomodells ableiten. Somit weisen auch die Ergebnisse des Georadars Ähnlichkeiten mit früheren Oberflächenmessungen auf. Es kann allerdings ebenfalls festgestellt werden, dass die zahlreichen im Geomodel eingebrachten Bohrloch-Sonden zu Inhomogenitäten führen, die sich in den Oberflächen-Radargrammen widerspiegeln. Gegenstand zukünftiger Untersuchungen wird das Monitoring eines (teils) wassergesättigten Geomodells sein.

UI-P2.02

Thermomechanische Modellierung anisotroper Gesteine mittels Diskreter Elemente am Beispiel von Gneis

R. Morgenstern, H. Konietzky

TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geotechnik, Freiberg

In den letzten Jahren intensivierten sich die Bemühungen, anisotropes Verhalten von Gesteinen in numerischen Modellen abzubilden. Durch die Verfügbarkeit von immer mehr Rechenleistung können nun auch komplexere Systeme genauer studiert werden. Dabei liegt der Fokus sowohl auf gekoppelten thermo-mechanischen, als auch hydrothermo-mechanischen Modellen, um das komplexe Materialverhalten unter verschiedenen realitätsnahen Bedingungen möglichst umfassend abzubilden. Am Beispiel von Gneis wird ein numerisches Modell für die Modellierung einaxialer Druck- und Spaltzugversuche vorgestellt, welches den Diskreten-Element-Code 3DEC von Itasca nutzt, um anisotropes thermo-mechanisches Materialverhalten zu simulieren. Dabei werden sowohl der Modellaufbau, Kalibrierung der Modellparameter und die numerischen Ergebnisse unter zwei verschiedenen thermischen Bedingungen diskutiert und anhand von Labordaten validiert.

UI-P2.03

Induced Polarisation (IP) laboratory measurements on *E. coli*-sand mixtures

T. Martin¹, C. Paul²

¹Lund University, Engineering Geology, Lund, Sweden,

²Lund University, Water Resources Engineering and Applied Microbiology, Lund, Sweden

The aim of the MIRACHL project is the characterisation and monitoring of in-situ remediation of chlorinated hydrocarbon contamination using an interdisciplinary approach and geophysical methods, such as DCIP (direct current induced polarisation) to investigate the remediation process.

To interpret these geophysical field IP data, lab investigations with different kinds of bacteria are necessary to assess the sensitivity of the methods for these specific applications. A first experiment was conducted with *E. coli* bacteria. Bacteria were grown together with a rich source of nutrients (Luria-Bertani broth - LB) and mixed in different flasks with sterilised Ottawa sand. These bacteria-sand-mixtures were continuously shaken (30°C, 80 RPM) until defined endpoints (within 21 days) when the mixtures were harvested and packed in a 4-point sample holder to measure SIP (spectral induced polarisation), TDIP (time-domain induced polarisation) and SP (self-potential) under laboratory conditions. The same procedure was repeated with only the media-sand mixture to exclude any influences from just the nutrient and with water-sand mixtures.

The results show a slightly increase in phase and a decrease in resistivity after several days with a decrease in phase that appears to coincide with die-off of the bacteria. Resistivity in general was very low (between 3-10 Ω m) due to the highly conductive LB-media containing 5 g/L NaCl. As a result, the phase effects are very small too. The positive phase which could be observed for the *E. coli* measurements was surprising and

is not yet understood. As expected, the water-sand mixtures showed almost no phase shift and slightly higher resistivity values. The influence of the nutrients is very small and results in a slightly lower resistivity than the *E. coli*-sand mixtures. The SP measurements show no clear tendency, but this is most likely due to limitations in the sample holder. The TDIP data needs to be further processed but the resistivity values are in accordance with the SIP results. Scanning electron microscope (SEM) images showed *E. coli* bacteria attached to the sand grains which could modify the grain surface (e.g. increasing the surface area and/or form a biofilm) and impact the IP measurements. In future, to support these observations with quantitative comparisons, the number of bacteria present in the sand will be determined using quantitative polymerase chain reaction (qPCR) to detect bacterial DNA (deoxyribonucleic acid).

UI-P2.04

Porenraumcharakterisierung von Lockergestein bei sukzessiver Verdichtung mittels spektraler induzierter Polarisation und elastischer Wellengeschwindigkeiten

D. Branka, F. Börner, C. Rücker

Technische Universität Berlin, Angewandte Geowissenschaften, Berlin

Die Überwachung geotechnischer Prozesse wie z.B. die Verdichtung von Baugrund oder die Stabilisierung von Bergbaukippen mittels geophysikalischer Verfahren ist Bestandteil aktueller Forschung. Die Porosität bzw. dessen Änderung gilt dabei als einer der wichtigsten zu untersuchenden Parameter. Als ausgeprägt porositätsabhängige Parameter bieten sich die elektrische Leitfähigkeit und V_p - bzw. V_s -Geschwindigkeiten gut an um die Porenräume zu charakterisieren. Insbesondere bei schluffigen bis tonigen Sedimenten werden die abgeleiteten Porositäten jedoch durch Grenzflächeneffekte und lose Korn-Korn-Kontakte oft verfälscht. Durch Nutzung geeigneter petrophysikalischer Modelle wird versucht, diese verfälschenden Einflüsse auf die komplexe elektrische Leitfähigkeit bzw. die Wellenlaufzeiten zu minimieren.

Für die Untersuchungen wurde eine Messzelle entwickelt, die sowohl SIP als auch V_p - und V_s -Messungen bei sukzessiver Verdichtung gestattet. Die vorliegenden Messergebnisse zeigen die komplexe elektrische Leitfähigkeit von ausgewählten schluffigen und tonigen Sedimenten in einem Frequenzspektrum von 10 mHz bis 1 kHz. Das Ziel ist eine belastbare Quantifizierung der Porositätsabnahme während der stufenweisen Verdichtung der Proben. Die Verdichtung wurde durch kontrollierte Vibrationen der Messzelle realisiert. Die Setzung der Probe bewirkte eine Porositätsabnahme von bis zu 10 %. Bei allen Untersuchungen waren die Lockersedimentproben vollständig wassergesättigt. Die Konstanz der Porenwasserleitfähigkeit wurde während der Verdichtung überwacht und weitestgehend gewährleistet.

Aus den Messungen der komplexen elektrischen Leitfähigkeit resultieren zwei wesentliche Effekte:

- (1) Der Realteil nahm bei zunehmender Verdichtung ab
- (2) Der Imaginärteil nahm bei zunehmender Verdichtung zu

Wir zeigen ein passendes komplexes Leitfähigkeitsmodell, das die gegenläufigen Effekte

(1) und (2) erklärt. Zusätzlich stellen wir die Porosität berechnet aus der komplexen Leitfähigkeit gegenüber der unabhängig volumetrisch berechneten Porosität dar und vergleichen diese. Die zugehörigen Messungen der Wellenlaufzeiten sind auch mit der Porositätsabnahme korrelierbar, jedoch weniger scharf im Vergleich zur SIP.

UI-P2.05

Thermographie- und Bodenradarmessungen an der Bonifatiuskirche Schenefeld (Mittelholstein)

Y. Esel¹, E. Erkul¹, D. Schulte-Kortnack¹, J. Heller², C. Leonhardt², T. Meier¹

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel,

²Werkstatt für Kunst und Denkmalpflege GbR, Kiel

Im Rahmen eines geophysikalischen Feldpraktikums wurden in der ältesten Kirche Schleswig-Holsteins (ca. 825 n. Chr.) in Schenefeld geophysikalische Messungen vorgenommen. In diesem Beitrag werden erste Ergebnisse der Thermographie- und Bodenradarmessungen vorgestellt.

Die Betrachtung von Objekten mithilfe der berührungslosen Erfassung von natürlichen und künstlich erzeugten Temperaturfeldern (Thermographie) erlaubt Aussagen über den Zustand der Bausubstanz in Hinblick auf Feuchtigkeit oder Beschädigungen.

Desweiteren kann die Struktur historischer Mauerwerke berührungslos sichtbar gemacht werden. Durchgeführt wurden die Messungen mit einer Wärmebildkamera der Firma InfraTec aus Dresden. Die Messdauer der einzelnen Aufnahmen liegt in einem Bereich von 10 Minuten bis zu 16 Stunden bei einer Abtastrate von einem bis sechs Bildern pro Minute.

Die kurzzeitigen Messungen an den außen Wänden der Kirche zeigen Bereiche unterschiedlicher Oberflächentemperaturen, die vermutlich von Feuchteintrag hervorgerufen werden können. Messungen an der nördlichen Außenwand zeigen Hinweise auf unterschiedliche Bauphasen.

Die GPR- Messungen wurden mit der SIR-4000-Messapparatur und der neuen Multidigital-Frequenz-Antennen (800 MHz u 300 MHz) der Firma GSSI durchgeführt. Ziel der Untersuchungen war es, die Untergrundstruktur innerhalb und außerhalb des Kirchengebäudes zu untersuchen. Im Außenbereich sollten verdeckte Mauern, Objekte und Schutthorizonte oberhalb des eiszeitlichen Sanders, auf dem die Kirche erbaut wurde, erfasst werden. Im Innenbereich war die Frage, ob Hohlräume bzw. Mauern eines Vorgängerbaus detektiert werden können. Um eine hohe Auflösung sowohl im flachen Untergrund wie in größeren Tiefen zu erreichen, wurden simultan eine 800 MHz Antenne und eine 300 MHz-Antenne eingesetzt. In ausgewählten Bereichen sind Profile bis zu einer Länge von 20 m mit einer Messdichte in Profilrichtung weniger als 2 cm und zwischen den Profilen 15 cm gemessen worden. Unter dem Kirchenschiff und vor dem Altar sind Bereiche höherer Reflexionsenergie zu beobachten, die vermutlich von Hohlräumen und Objekten im Untergrund bedingt sind, aber auch durch technische Installationen erzeugt werden. Im nördlichen Außenbereich können im Untergrund Streuobjekte beobachtet werden, die vermutlich mit der früheren Kirchenplatzbegrenzung in Zusammenhang stehen

UI-P2.06

Delineating biogeochemical hotspots by the use of combined time and frequency-domain induced polarization imaging

J. Gallist¹, T. Katona¹, L. Pavlin², P. Strauss³, G. Blösch², A. Flores-Orozco¹

¹TU Wien, Research Division Geophysics, Wien, Österreich, ²TU Wien, Centre for Water Resource Systems, Wien, Österreich, ³Federal Agency for Water Management Austria, Institute for Land and Water Management Research, Petzenkirchen, Österreich

Microbial hotspots, i.e. subsurface areas characterized by a disproportionately high microbial activity compared to the bulk volume, are of great interest because of their role in the overall carbon and nutrient cycle. Therefore, in recent years hydrogeological investigations have devoted large efforts aiming at the understanding of hotspots and their contribution to biogeochemical cycling. However, microbial communities are sensible environments and the investigation using direct methods leads to significant disturbances, which might also result in an unintended collapse of the system. Hence, here we investigate the applicability of induced polarization (IP) imaging, a non-invasive method, which is particularly sensitive to the accumulation of metallic compounds as well as microbial cells and the properties of the pore space. In our study, we focus on those subsurface spots associated to iron sulfide (FeS) biomineralization induced by sulfate reducing bacteria under anaerobic conditions. In particular, we investigate the frequency dependence of the IP response resolved at the field scale to (1) assess pore-scale changes associated to biomineralization and (2) quantify the amount of disseminated metallic compounds, using existing petrophysical models. We present initial results from a field-scale application of combined time- and frequency-domain IP (TDIP and FDIP respectively) imaging for the characterization of geochemical hotspots in an agricultural catchment in Austria. TDIP data were collected along 27 profiles, of which 10 profiles aimed at the “large” scale characterization of the study area using 1 m electrode spacing and arrays of 72 electrodes, and 17 profiles using 0.5 m electrode spacing for a detailed delineation of the observed IP anomalies. The mapping approach was complemented by a detailed analysis of data collected in TDIP and FDIP covering a broad range of frequencies and pulse lengths along a profile crossing the main IP anomaly. Consistently to previous laboratory studies, we observe a distinct IP relaxation in the lower frequencies, which is also represented by an elevated TDIP response for data collected with longer pulse lengths.

UI-P2.07

Distribution of chloride concentration derived from helicopter-borne electromagnetic (HEM) Data in the Elbe-Weser coastal aquifer, Lower Saxony, Germany

M. A. Rahman¹, Q. Zhao², N. Skibbe¹, H. Wiederhold¹, E. González³, B. Siemon⁴

¹Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Hannover, ²Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen, ³Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover, ⁴Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

For proper coastal zone groundwater resources management, information on salinity (in terms of chloride, mg/l) distribution instead of water conductivity or subsurface resistivity in the aquifers is very essential. These information are also important to simulate and validate density driven groundwater model that is considered an efficient tool for groundwater resources management. To support groundwater modelling and groundwater resources management, this study has developed a method to derive chloride concentration from helicopter-borne electromagnetic (HEM) data taking the coastal aquifer of Elbe-Weser triangle at Lower Saxony, Germany into consideration. At the study area, salinity in the groundwater is the main issue. Observed chloride and electrical conductivity data reveals that the horizontal distribution of salinity is not uniform and it does not correlate with the coastline. Inhomogeneity in vertical salinity distribution also exist. The occurrence of salinity from the North Sea and the Elbe River towards the inland correlates with the early age flooding pattern. The BGR performed in the years 2000 to 2009 various HEM surveys to obtain high-resolution subsurface resistivity information at the study area. Estimation of chloride concentration from HEM data is not straightforward due to the complex nature of the subsurface geology, especially where clay and silt are present. Therefore, in this study, a method has been developed to obtain chloride concentration from HEM data by using borehole petrography information, grain size analysis of borehole samples (data source: LBEG), observed chloride and electrical conductivity (EC) values (data source: Lower Saxon State Department for Waterway, Coastal and Nature Conservation, NLWKN). Our methodology comprises the following six steps: (1) Analysis of borehole information and petrography classification, (2) Estimation of formation factor from grain size analysis for each petrography class. (3) Assignment of resistivity from the nearest HEM data points to each existing lithology at each boreholes, (4) Conversion of resistivity to groundwater EC, (5) Establishment of relationship between chloride and groundwater EC, and validation of the relation, (6) Conversion of HEM resistivity values to chloride concentration. This poster will present several maps related to vertical and horizontal distribution of salinity (in mg/l) of the study area. The study is funded by EU Interreg project TOPSOIL.

VU-1.01

Anwendung geophysikalischer Methoden zur Exploration auf Seltene Erden-Mineralisationen alkaliner und karbonatitischer Systeme am Beispiel des vulkanischen Kaiserstuhl Komplexes

M. Tauchnitz¹, K. Brauch¹, C. Pohl¹, G. Symons¹, B. Heincke², A. Avdeeva³

¹terratec geophysical services GmbH & Co. KG, Heitersheim, ²Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS), Department of Petrology and Economic Geology, Copenhagen, Dänemark, ³Complete MT Solutions Inc., Leicester, United Kingdom

Im Rahmen des von der Europäischen Union geförderten Forschungsprojektes Horizon 2020 - HiTech AlkCarb (grant agreement N° 689909) wird die Entstehung und Exploration von Lagerstätten mit sogenannten „High Field Strength Elements“-Mineralisationen (HFSE) untersucht, welche auch die Metalle der Seltenen Erden beinhalten (REE). Mit den in diesem interdisziplinären Projekt gewonnenen Erkenntnissen sollen die existierenden Explorationsmethoden für alkaline und karbonatitische Gesteinsprovinzen angepasst bzw. verbesserte Geomodelle entwickelt werden. Die Ergebnisse sollen zudem die Entwicklung eines detaillierten geologischen Modells unterstützen.

Aufgrund guter Aufschlussbedingungen intrusiver und extrusiver Gesteine, dem günstigen subvulkanischen Erosionslevel und historischer Daten, wurde der Kaiserstuhl in SW-Deutschland als „natürliches Laboratorium“ ausgewählt.

Im Rahmen dieser Studie wurden im regionalen Maßstab eine magnetische und spektrometrische Befliegung des Kaiserstuhls unternommen. Auf lokaler Ebene wurden diverse Bohrlochmessungen sowie bodengeophysikalische TDIP-, ERT-, NSAMT-, Spektrometrie und Magnetik-Messkampagnen ausgeführt. Historische Gravimetriedaten wurden neu interpretiert und mit der Magnetik für 2D- und 3D-Modellierungen verwendet. Ziel ist die Ermittlung von physikalischen Parametern und Messverfahren, die sich für die Auffindung und Charakterisierung von Karbonatitsystemen und zur Abgrenzung der darin vorkommenden HFSE Mineralisierung eignen. Die Ergebnisse werden im Vortrag vorgestellt und ihre Bedeutung diskutiert.

VU-1.02

Video monitoring and topographic mapping: Relationship between lava fontaining and vent morphology of the 2014–2015 Holuhraun fissure eruption

T. Witt¹, T. R. Walter¹, D. Müller¹, A. Schöpa¹, M. T. Gudmundsson²

¹GFZ Potsdam, Potsdam, ²University of Iceland, Institute of Earth Sciences, Reykjavik, Island

At fissure eruptions, both lava fountains with complex venting activity in pulsating form and the development of characteristic morphological features can be observed. Most morphological studies are based on observations of old structures and are not related to direct observations and systematic records of vent activity. We analyze the 2014–2015

Holuhraun eruption site, Iceland, to study the location and evolution of these cones and their relationship to venting dynamics.

Here we analyze records from lava fountain activity at distinguished vents during the first days of the eruption and compare them with the morphology of spatter cones that developed. To characterize the cone morphologies, we performed a fieldwork mapping project combining terrestrial laser scanning (TLS) and unmanned aerial vehicle (UAV) aerophoto techniques. To estimate venting heights and particle velocities, we recorded videos of the eruption and used edge detection and particle image velocimetry.

We find that the number of active vents producing lava fountains decreases from 57 along the whole line of fire to 10 lava fountains at distinct vents during the first five days of the eruption. Thereby, we see that the strongest and the highest lava fountains were recorded at the locations where spatter cone morphology developed. Furthermore, the sites that eventually developed moderate or weak cone morphologies were identified as less active lava fountain locations during the early stage of the eruption. The comparison of our topographic datasets from the beginning of the eruption and after the eruption ended shows that the spatter cones remained similar in shape but increased in size as the eruption progressed. In addition, we suggest that the observed changes in morphology are related to lava ponding in the crater, which in turn strongly influenced the lava fountain heights.

Based on this study we are able to demonstrate the close relationship between cone morphology and lava fountain activity at the onset of an eruption.

VU-1.03

Characterisation of acoustic blanking zones in seismic reflection data near Henry Seamount, Canary Islands

K.-F. Lenz¹, S. Krastel¹, F. Gross¹, A. Klügel², R. Barrett¹, P. Held¹, K. Lindhorst¹

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Geowissenschaften, Kiel,

²Universität Bremen, Geowissenschaften, Bremen

Volcanic systems occur all over the world and provide important insights into the interior of the Earth. The Canary Island Archipelago off NW-Africa is one such volcanic system. The archipelago formed during the past 20 Ma but older volcanic features exist, including Henry Seamount, an extinct 126 Ma old volcano located 40 km southeast of El Hierro island. Evidence of recent fluid discharge at this seamount was provided by rock and shell samples from a reconnaissance dredging campaign during METEOR cruise M66/1 in 2006. A detailed high-resolution reflection seismic dataset was recorded in an area between El Hierro and Henry Seamount during RV Meteor expedition M146 in 2018 in order to investigate the volcanic system and fluid flow features in this area. Several acoustic blanking zones were discovered and identified as the most prominent features in this seismic dataset. We characterize and discuss the occurrence of these acoustic blanking zones in relation to the volcanic activity in the working area. Three different types of blanking zones are classified in the dataset. These types cluster in different regions of the working area. Type 1 blanking zones are caused by dyke intrusions, or by hydrothermal doming resulting from sill intrusions. Similar to type 1, type 2 blanking zones are most likely caused by dyke intrusions, but crop out at the seafloor. Type 3 blanking zones are likely related to fluid conduits resulting from

magmatic intrusions. Two models are suggested for the occurrence of the varying blanking zone types: (1) the blanking zones result from a combination of dykes and mobilized fluids, or (2) the blanking zones result from magmatic sill and dyke intrusions, which are associated with hydrothermal doming and fluid mobilization. Magmatic intrusions in this area have been assumed to be sills rather than dykes. This leads us to favour the second model for blanking zone occurrence and distribution. However, additional results from expedition M146 show that the magmatic system and its hydrothermal compartments are probably inactive, due to the lack of recent hydrothermal activity in the working area.

Vulkanologie // Poster

VU-P.01

Real-time detections of volcanic eruptions using neuronal networks

D. Uhle¹, M. Hort¹, J. Lüttgau², J. Walda¹

¹Universität Hamburg, Institut für Geophysik, Hamburg, ²Deutsches Klimarechenzentrum GmbH, Research Group Scientific Computing, Hamburg

Emissions of volcanic ash during large eruptions strongly affect the population and infrastructure around volcanoes, as well as the aviation industry. Most of today's volcanological monitoring techniques to detect ash emissions are strongly influenced by the weather and/or the visibility conditions, save for radar and Doppler radar observations. Radar, in general, is sensitive to any particle (including ash and importantly rain) present inside the radar beam. Discriminating between rain and ash emissions is not straightforward, especially for radars continuously pointing at the same location, and often requires the input of human interpreters. This process is time-consuming and automation of this process to support decision makers is highly desirable.

Here we present a supervised neural network approach to automatically distinguish between ash emissions, rain, and noise all recorded by Doppler radar. In a first attempt, we use single Doppler spectra to train neural networks for this purpose. The Doppler spectra include information on the velocities of particles in different distance intervals (so called range gates). We find that such a neural network can reliably differentiate between noise, rain, and eruptions with classification accuracies of at least 96% and up to 99%. In case of monitoring remote volcanoes, the data has to be transmitted from the instrument to an observatory (over limited bandwidth transmission lines) or processed locally at the instrument which has limited computing power. Such a system is installed at Turrialba volcano in Costa Rica. Therefore we tested how much data is required to detect eruptions reliably. Our sensitivity study shows that a reduced amount of input data is sufficient to classify Doppler radar data automatically. Automated radar-based monitoring is possible using a single range gate (data reduction by 85%). However, adding a second range gate (still less than 30% of the original data are used) improves the accuracy significantly, from 97% to 99%. The performance does not differ considerably using two or all range gates.

In conclusion, neural networks can automatically detect ash emission in Doppler radar data, independent of weather and visibility.

Wissenschaftliches Publizieren heute: Texte und Forschungsdaten // Vorträge

WP-1.01

Forschungsdaten 'Open and FAIR' publizieren

A. Hübner

Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam

Die zitierfähige Veröffentlichung von Forschungsdaten mit einem Digital Object Identifier (DOI) ist ein zentraler Baustein im heutigen Kulturwandel des wissenschaftlichen Publizierens: eine Forschungspublikation ist heute viel mehr als ein gedrucktes oder elektronisch verfügbares Manuskript. Daten, Software, experimentelle Protokolle und physikalische Proben, die mit einem wissenschaftlichen Artikel verbunden sind, entsprechen den steigenden Anforderungen nach mehr Integrität, Transparenz und Reproduzierbarkeit der Forschung. Darüber hinaus eröffnet die Wiederverwendbarkeit der Daten durch Andere umfangreiche Forschungsoptionen.

Die Initiative *Enabling FAIR Data in the Earth, Space, and Environmental Sciences* hat Empfehlungen, Standards und Werkzeuge herausgegeben, um diese Herausforderungen zu meistern. Der Vortrag adressiert die aktuellen Anforderungen an Forschung und stellt die Werkzeuge vor, mit denen den Anforderungen im Forschungsalltag begegnet werden kann.

WP-1.02

Publizieren wissenschaftlicher Literatur im Open Access – Hintergrund und Praxis

I. Achterberg

Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen, Göttingen

„Open Access als Standard des wissenschaftlichen Publizierens etablieren“ formuliert das BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) in seiner Open-Access-Strategie und steht damit im Einklang mit Forderungen der DFG, der EU, von Universitäten und Forschungseinrichtungen.

Im Open Access zu publizieren ist, abhängig von der Quelle der Fördergelder, bereits für viele Projekte Pflicht, und wird ab Januar 2020 für viele weitere obligatorisch sein („Plan S“).

Warum ist Open Access so wichtig? Die Wissenschaft profitiert insgesamt, wenn der publizierte Stand der Forschung Allen zugänglich ist. Auch die Gesellschaft profitiert von der freien Verfügbarkeit der durch sie finanzierten Forschungsergebnisse. Zudem werden Forschende an weniger gut finanzierten Institutionen weniger stark benachteiligt.

Was bedeutet das aber in der Praxis für die Forschenden? Was ist zu beachten, um die Zweitveröffentlichung („self-archiving“) als anerkannte und legale Option zu nutzen? Beispielsweise gibt es in Deutschland ein Zweitveröffentlichungsrecht (§ 38 UrhG), und die Regularia der Journale sind vereinfacht auf SherpaRomeo (<http://www.sherpa.ac.uk>) zusammengefasst.

In reinen Open Access Journalen zu publizieren, gewinnt zunehmend an Attraktivität. Denn es gibt mittlerweile, auch durch die Transformation traditionsreicher Journale zum Open-Access-Modell, zahlreiche Open-Access-Journale mit hohen Zitations-Indices und die freie Verfügbarkeit der Artikel wirkt sich positiv auf deren Zitations-Häufigkeit aus. Seriöse Open Access-Journale sind im Directory of Open Access Journals (<https://doaj.org/>) verzeichnet. Relevant ist auch, welche Kosten für das Publizieren anfallen und wer diese trägt.

WP-1.03

Publication and archiving of research data at the Geophysical Instrument Pool Potsdam (GIPP)

G. Munoz, C. Haberland

GFZ Potsdam, Potsdam

The Geophysical Instrument Pool Potsdam (GIPP) is an infrastructure facility supporting geophysical research to investigate geological structure processes. Operated by the GFZ Potsdam, it provides seismic and magnetotelluric (MT) instruments and sensors for projects of GFZ groups, universities and other research institutes free of charge. Since its foundation in 1993 the GIPP has supported almost 400 geoscientific projects. The users comprise GFZ groups, 23 German research groups and 25 international research groups. Data acquired with GIPP instruments has resulted in more than 450 SCI/Scopus scientific publications.

Curation, archiving and publication of scientific data is becoming an increasingly important issue within the scientific communities, since well-curated datasets can lead to innovative research even decades after being recorded. To ensure that data remain relevant even beyond the primary purpose of the original study, best practices recommend the utilization of the FAIR principles (data should be Findable, Accessible, Interoperable and Reusable). Possibilities to reference (existing) data are also important to acknowledge the efforts of the data creators. Based on these principles, the GFZ recently approved research data guidelines to establish best practices for dealing with research data. The GeoData Node (GDN) project funded by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) seeks to foster the implementation and practice of these guidelines GFZ-wide and in particular within the GIPP Experiment and Data Archive.

Since 2010 data gathered with instruments of the GIPP has to be made available to the public within 4 years after the completion of the field work. For archiving, the GIPP Experiment and Data Archive and the GFZ Seismological Data Archive (GEOFON) in cooperation with the Library and Information Services (LIS) at GFZ are available.

Research data are archived and disseminated as data publications with digital object identifiers (DOI) and accompanying reports (Metadata) attached.

Here we present some key aspects of current efforts of the geophysical data archiving at GIPP such as dealing with heterogeneous datasets (such as controlled source seismic data), automatic report generation for MT data, integration of seismological data into the GEOFON database, design and implementation of Persistent Identifiers (PID) for geophysical instruments and establishing clear workflows for data publication in collaboration with the LIS.

WP-1.04

Digitalisierungen und Open Access-Publikationen von Texten und Karten über den FID GEO: Fallbeispiel „Zeitschrift für Geophysik“ der DGG

N. Pfurr, I. Achterberg

Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen, Göttingen

Der Fachinformationsdienst Geowissenschaften der festen Erde (FID GEO) verfolgt mit finanzieller Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) das Ziel die digitale Transformation und den freien Zugang zu wissenschaftlichen Produkten in den Geowissenschaften zu fördern.

Wesentliche Dienstleistungen in diesem Kontext sind:

- 1) das Angebot zur Digitalisierung und Online-Stellung von gemeinfreien und vergriffenen Schriften und Karten sowie bisher nur gedruckt verfügbarer grauer Literatur und institutionellen Serien unter Berücksichtigung der Urheberrechte,
- 2) die elektronische Publikation von Monographien, Pre- und Postprints begutachteter Forschungsarbeiten bis hin zu ganzen institutionellen Serien und Zeitschriften sowie grauer Literatur nach aktuellen Standards im Open Access.

Ausgerichtet sind die bei der SUB Göttingen angesiedelten Services an Bedarfsmeldungen aus der geowissenschaftlichen Forschung. Alle Digitalisate und elektronischen Dokumente werden unter Vergabe eines Document Object Identifiers (DOI) auf GEO-LEOe-docs, dem Repositorium des FID GEO, frei zugänglich veröffentlicht.

Der Vortrag adressiert die Möglichkeiten des Publizierens über den FID GEO und stellt als Fallbeispiel die rechtliche Validierung, die Digitalisierung und anschließende online-Veröffentlichung der „Zeitschrift für Geophysik“ der DGG vor.

WP-1.05

Open and FAIR data in seismology: state of the art and future perspectives

A. Strollo, The GEOFON team

Helmholtz-Centre Potsdam - GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam

The GEOFON program, operated by the Seismology group and part of the Modular Earth Science Infrastructure of the GFZ, started more than two decades ago with the aim to foster data sharing and standardization in seismology. The GEOFON infrastructure, initially developed to simply acquire high quality seismic data and serve it in standard formats, evolved towards services enabling the automatic execution of complex workflows on big volumes of data. At the GEOFON data center today more than 100 TB of seismic data, including passive data from the Geophysical Instrumental Pool Potsdam (GIPP) and third-party data, are curated and re-distributed to thousands of unique users per year making millions of customized data requests. Moreover using the data acquired in real-time, fast automatic earthquake detections are carried out and continuously updated in the aftermath of the events making the data highly dynamic. Data management at GEOFON, and in other large seismological data centers (e.g. the nodes part of the European Integrated Data Archive and other FDSN federated data

centers), has reached a good level of FAIRness with data holdings discoverable through standard web services, using standard data and metadata formats, in most of the cases open and recently also being licensed with standard licenses. The ongoing integration with other disciplines, data usage in the context of citizen science, usage of massive data sets also staged at High Performance Computing facilities, requires today additional work towards making data description less domain specific, clear data policies and improved provenance information. Here we present how seismologists are making their data Open, Findable, Accessible, Interoperable and Re-usable describing the current state, the ongoing work and future challenges.

Index of authors

(bold = first author)

A

Achterberg, I. **WP-1.02**, WP-1.04
 Agemar, T. **GT-1.01**
 Aigner, L. GE-P.08, S4-2.03,
S4-P.06
 Alcántara, L. SM-P.06
 Allroggen, N. **UI-1.01**
 AlpArray, W. G. SO-P2.03
 Arz, H. S1-1.02
 Attia al Hagrey, S. UI-P2.01
 Auster, H.-U. EM-2.03, S1-4.04
 Auster, U. S1-4.03, **S1-4.05**
 Avdeeva, A. VU-1.01
 Azari Sisi, A. S4-P.02, **SO-P2.11**

B

Bäckström, E. SM-4.03
 Ballu, V. SO-1.03
 Banen, S. N. GD-1.03
 Baranov, B. SO-4.02, SO-5.01
 Barckhausen, U. MG-1.01, MG-P.08,
MG-P.09
 Barrett, R. VU-1.03
 Barth, L. **SO-P2.06**
 Bauer, A. **SM-4.01**
 Baumhauer, R. S4-1.01, S4-P.04
 Baykiev, E. S1-3.04
 Bayrakci, G. MG-P.10
 Beck, J. F. BL-P.03
 Becken, M. EM-2.01, EM-P.10,
 EM-P.12, S1-P.02
 Becker, D. SO-P1.01, SO-P1.10
 Becker, V. GR-P.03
 Beisembina, G. **BL-P.01**
 Beiter, D. UI-1.01
 Ben Salem, A. H. GD-2.03
 Beniest, A. MG-P.04
 Bergamo, P. SO-4.05
 Bergers, R. EM-P.12
 Berglar, K. MG-1.01, MG-1.03,
 MG-1.04
 Bergmann, C. GE-P.02
 Berkels, B. MG-P.01
 Berndt, C. BL-1.02, MG-P.08,
 MG-P.10, SM-3.04
 Bertram, M. SM-1.02
 Bialas, J. SO-1.03
 Birnstengel, S. **UI-P1.02**
 Bischoff, M. **SO-7.01**
 Blanco, B. **EM-P.03**

Blascheck, P. **S2-1.02**
 Blöschl, G. UI-P2.06
 Blum, J. S1-4.04
 Blumrich, D. **SM-2.02**, UI-P1.04
 Bodenburg, S. B. SM-1.02
 Bohlen, T. SM-3.02
 Bollingerfehr, W. S2-3.02
 Bömer, B. S1-P.02
 Bönnemann, C. SO-1.01
 Börnchen, A. **SO-P2.05**
 Börner, F. BL-1.01, BL-P.02,
 GE-2.01, GE-P.02,
 GE-P.10, UI-P2.04
 GE-P.01, GE-P.13
 Börner, J. GS-1.03
 Börngen, M. SO-P1.09
 Boschi, L. SO-2.04
 Bossu, R. MG-P.10
 Böttner, C. **GD-2.02**
 Bouffard, M. SO-1.01
 Brandes, C. MG-P.04
 Brandl, P. GE-P.02, **UI-P2.04**
 Branka, D. VU-1.01
 Brauch, K. **SM-4.03**
 Bräunig, L. **GD-1.01**
 Bredow, E. EM-1.02
 Bretaudeau, F. S1-1.03
 Brown, M. S1-P.06
 Brunke, H.-P. **UI-P.06**
 Brunken, J. GT-1.01
 Brüstle, A. S2-1.02, SO-P1.07
 Buckel, J. **S4-1.02**, S4-2.01,
 S4-3.02
 Bücken, M. GE-P.08, S4-2.03,
S4-3.02, S4-P.06
 Büdel, C. S4-P.04
 Bunes, H. GT-P.03, GT-P.04,
 SM-1.01
 Burschil, T. **SM-1.01**
 Busch, S. **BL-P.03**
 Buske, S. BL-P.04, GO-P.01,
 S2-3.01, SM-1.02,
 SM-2.03, SM-3.01,
 SM-4.03, SM-4.05,
 SM-P.04, **SM-P.05**,
 SO-P2.05, UI-P1.04
 Busse, A. EM-P.12
 Büttner, C. **S2-3.01**
 Büttner, G. S4-3.01

C

Cai, J. **EM-P10**
Caielli, G. MG-1.02
Çakir, Z. SO-1.03
Ceranna, L. **SO-2.04**

Cesca, S. SO-2.01, **SO-2.03**,
SO-6.02, SO-P1.13,
SO-P2.03, SO-P2.05

Chai, L. EP-2.02
Chau, J. L. S1-3.01
Cherevatova, M. EM-2.01, EM-2.02,
EM-P10

Christiano, L. SO-P1.10, SO-P2.10
Chwatal, W. S4-P06
Clark, G. EP-1.04
Clauser, C. BL-P04
Conrad, C. P. GD-1.04
Constantinescu, D. EM-2.03, **S1-4.03**,
S1-4.04
Constantinou, A. SM-1.02
Cook, K. S4-0.01
Coppo, N. EM-1.02
Costabel, S. EM-2.02, **GE-P.12**,
S2-P.04, **UI-1.03**

Costard, L. AG-P01
Crawford, W. MG-1.02, SO-P1.05
Cristiano, L. SO-P1.01, UI-P1.06

D

Daffner, T. BL-1.01, BL-P02
Dahlin, T. GE-1.04
Dahm, T. SO-3.01, SO-P1.13,
SO-P2.08
Dahmke, A. UI-P1.02
Damm, V. MG-1.01, **MG-1.04**
Dannberg, J. GD-1.01
Dannowski, A. MG-1.01, **MG-1.02**,
MG-1.02, **MG-1.02**,
MG-P.03, MG-P.04,
MG-P.08, MG-P.10,
SO-P1.05
Daout, S. SO-3.03, SO-P2.07
Darnet, M. EM-1.02
Daszinnies, M. MG-P06
de Franco, R. MG-1.02
De Nil, D. SM-3.03, SM-4.02
Dell, S. SM-4.04
Dellong, D. MG-P03

Delva, M. S1-4.05
Dethof, F. **SO-P1.10**
Dettmer, J. SO-3.04
Deus, N. EM-P.07
Diaz, D. EM-P.03
Diekmann, L. SM-4.01
Dierking, W. S4-1.01
Dieterichs, C. S2-3.02
Dietrich, P. UI-P1.02
Dietze, M. S4-0.01
Dilixiati, Y. **EM-P.08**
Dinsel, F. **GE-P.10**
Dinske, C. **SO-1.04**
Dlugosch, R. EM-4.01, EM-4.04,
EM-4.05
Donner, S. **SO-3.02**, SO-P2.01
Dörner, D. S2-2.02, **S2-P.01**
Dreibrodt, S. S1-2.03
Duarte, L. S1-4.01
Duffner, P. SO-P1.14
Durrheim, R. BL-1.03

E

Ebbing, J. BL-1.04, EM-P08,
GD-1.01, GD-1.02,
GD-1.04, GD-P02,
GR-P01, GR-P02,
S1-3.04, SO-P1.02
Eccles, J. SM-1.02
Effner, U. S2-2.03
Ehrhardt, A. MG-1.01, MG-1.04
Eichkitz, C. **S2-1.01**
El-Sharkawy, A. GR-P01, SO-P1.12
Elbracht, J. EM-P.07
Elger, J. BL-1.02
Ellger, C. **GO-1.01**
Engels, M. MG-1.01, MG-P.08
Enkhbaatar, P. SM-P04
Epping, D. GE-1.03
Erbas, K. GT-1.02
Ergintav, S. SO-1.03
Erkul, E. AG-P01, GE-1.01,
SO-7.02, UI-P2.01,
UI-P2.05
Esefelder, R. S2-P05
Esel, Y. **UI-P2.05**
Eulendorf, T. **SO-6.01**
Exner, W. **EP-2.02**

F

Fäh, D. SO-4.05
Faßbinder, J. S1-2.04
Fechner, T. BL-1.03, **S2-2.01**
Fediuk, A. **GE-1.01**
Ferraccioli, F. GR-P.02, S1-3.04
Fertig, J. **GS-1.01**
Feyerabend, M. **EP-2.01**
Fieberg, F. **GO-1.02**
Finger, N.-P. **GD-2.01**
Fischer, C. **EP-2.04**
Fischer, P. SM-P.03
Fischer, S. L. **UI-P2.01**
Fishkis, O. UI-P1.07
Flechsigg, C. GE-P.05
Flores Estrella, H. SM-P.06
Flores Orozco, A. GE-1.04, GE-P.08,
S4-2.03, S4-3.02,
S4-P.01, S4-P.05,
S4-P.06, UI-P2.06,
SM-1.04
Flores-Estrella, H. **S1-3.01**
Fluche, B. SO-P1.14
Forbriger, T. SO-6.02
Franco, L. **MG-1.01**, MG-1.04,
MG-P.08
Frankenmann, R. SO-P1.14
Frey, M. **BL-1.04**
Friedrich, C. S2-2.03, S2-3.01
Friedrichs, B. EM-P.12
Fujimoto, M. S1-4.04
Funck, T. MG-1.01, MG-1.04,
MG-P.08
Funke, S. SO-P2.09

G

Gabriel, G. SM-1.01
Gaedicke, C. MG-1.03
Gaete, A. SO-6.02
Gajewski, D. SM-3.04, SM-4.01,
SM-4.04
Gallistl, J. S4-2.03, S4-3.02,
S4-P.06, **UI-P2.06**
Gärtner, G. S2-2.04
Gassmüller, R. GD-1.01
Gastine, T. S1-4.01
Gaucher, E. **GT-1.03**
Geerits, T. SM-3.01
Geisler, C. **S4-P.02**
Geissler, W. MG-1.04, SO-4.02,
SO-5.01
Géli, L. SO-1.03
Gestermann, N. **SO-1.01**, SO-7.01
Ghergut, J. **GT-P.05**

Ghods, A. SO-P2.01
Giese, R. GO-P.01, S2-P.05,
SM-4.05, UI-P1.05
Gilder, S. S1-1.01, **S1-3.02**
Gilder, S. A. S1-P.05
Glaßmeier, K.-H. **EM-2.03**, **GS-1.02**,
S1-4.02, S1-4.03,
S1-4.04, S1-P.07,
EP-1.02
Glöckner, M. **SM-3.04**
González, E. UI-P2.07
Gorman, A. SM-1.02
Görne, S. **GT-P.04**
Götz, C. **EP-1.01**
Goument, A. GD-2.02
Gräber, M. GE-1.01, UI-P2.01
Graindorge, D. MG-P.03
Grevemeyer, I. MG-1.02, SO-P1.05
Grinat, M. **GE-1.03**, GE-P.04
Gross, F. MG-P.06, VU-1.03
Grundmann, J.-T. S1-4.04
Grüneberg-Wehner, K. AG-P.01
Gudmundsson, M. T. VU-1.02
Gudmundsson, O. SO-1.02
Guillemoteau, J. UI-P1.03
Gundelach, V. **S2-1.03**
Gundlach, B. **S3-0.01**
Günther, T. EM-1.02, EM-2.02,
EM-4.01, EM-4.02,
GE-1.04, GE-P.04,
GE-P.05, GE-P.12,
S4-2.02, UI-P1.02
Güntner, A. GT-1.02
Gutscher, M.-A. MG-P.03
Güttler, C. S1-4.04

H

Haas, P. **GD-P.02**
Haberland, C. SO-4.02, SO-5.01,
WP-1.03
Hadziioannou, C. SO-P1.01
Hadziioannou, C. SO-P1.10
Haeger, C. GD-2.01
Häfner, R. S2-1.02
Hall, K. SM-1.02
Hamdi Nasr, I. GD-2.03
Hannington, M. MG-P.04, MG-P.09
Hansen, U. GD-P.01, GD-P.04,
GD-P.05
Hardegger, P. UI-1.02
Haroon, A. **EM-1.01**
Hartmann, J. S4-1.01
Hartmann, R. **GD-1.04**
Hassani, H. **SM-2.03**

Hauck, C. S4-2.02, S4-P.01
 Hedin, P. SM-4.05
 Heidbach, O. S2-P.02
 Heimann, S. SO-3.03, SO-3.04,
 SO-P2.07, SO-P2.08

 Heincke, B. VU-1.01
 Heinisch, P. EP-1.02
 Heinonen, S. SM-P.05
 Heinrich, F. C. S1-P.01
 Hejrani, B. SO-3.02
 Helbing, N. BL-P.03
 Held, P. VU-1.03
 Hellenkamp, P. **GD-P.01**
 Heller, J. UI-P1.06, UI-P2.05
 Hellwig, O. SM-3.01
 Helm, V. S4-1.01
 Helms, J. EM-4.01
 Henry, P. SO-1.03
 Hensch, M. SO-P1.07
 Hercik, D. EM-2.03, **S1-4.04**
 Hernandez, B. SO-2.04
 Herold, M. S2-3.02
 Herry, P. SO-2.04
 Heyde, I. MG-P.09
 Heyner, D. **EP-2.03**
 S1-4.02, S1-P.07
SO-P2.02
 Hiemer, V. S4-P.01
 Hilbich, C. **EM-P.04**, SO-7.02
 Hildebrandt, S. GT-P.04
 Hiller, A. **EM-4.05**, UI-1.03
 Hiller, T. GT-1.02
 Hinderer, J. **UI-P1.06**
 Hintz, S. SM-P.05, SO-P2.05,
UI-P1.04
 Hloušek, F. SM-2.03
 Ho, T.-M. S1-4.04
 Hobiger, M. **SO-4.05**
 Hofmann, R. S1-2.03
 Homuth, B. **GR-P.03**, **SO-P1.06**
 Hördt, A. GE-2.03, GE-P.03,
 GE-P.06, GE-P.11,
 S1-2.01, S1-4.04,
 S1-P.03, S4-1.02,
 S4-2.01
 Hornbruch, G. UI-P1.02
 Horner, D. GO-P.01
 Hort, M. EM-1.03, VU-P.01
 Hovius, N. **S4-0.01**
 Hu, L. UI-P1.02
 Hübner, A. **WP-1.01**
 Hugenschmidt, J. **UI-1.02**
 Huhn, K. MG-P.06

I

Ibraheem, I. **S1-2.02**
 Ibs-von Seht, M. **GT-P.02**
 Igel, H. SO-3.02
 Igel, J. EM-3.03, **EM-4.01**,
 EM-P.05
 S4-0.01
 Illien, L. SO-4.05
 Imperatori, W. GD-2.03
 Inoubli, H. SO-3.04, SO-P2.07
 Isken, M. SO-3.03
 Isken, M. P.

J

Jacobs, F. GS-1.02, **GS-1.03**
 Jaksch, K. GO-P.01
 Jänkäväära, H. SM-P.05
 Jegen, M. EM-1.01
 Jiang, C. EM-4.01
 Johnson, C. L. **S1-0.01**
 Jokat, W. MG-1.03
 Jolly, A. GT-1.02
 Jónsson, S. SO-2.03
 Jónsson, S. SO-3.04
 Joswig, M. S2-1.02, S4-2.04,
 SO-6.03, SO-7.03
 Jousset, P. GT-1.02
 Juhlin, C. SM-4.05
 Junge, A. EM-P.09, GE-P.07,
 GE-P.09
 SM-P.05
 Jusri, T.

K

Kaban, M. K. GD-2.01
 Kaiser, D. SO-1.01, **SO-6.04**,
 SO-P2.11
 SM-P.05
 Karinen, T. SM-P.05
 Karjalainen, J. **SO-P1.09**
 Kästle, E. **BL-1.02**
 Kästner, F. **GE-P.08**, UI-P2.06
 Katona, T. GE-P.02
 Katzenbach, R. SM-1.02
 Kellett, R. S2-1.03
 Kellner, A. S2-2.01, S2-P.06
 Kemmler, D. GE-2.02, S4-2.02
 Kemna, A. S4-3.01
 Kenzler, M. GE-1.03
 Kipke, V. GE-2.01, SM-3.03
 Kirsch, R. SO-P1.09
 Kissling, E. GE-P.01
 Kiyan, D. MG-P.03, MG-P.05,
 MG-P.07
 Klaeschen, D. SM-3.04
 Kläucke, I. MG-P.03

Klewe, T. **EM-3.02**
 Klingelhoef, F. MG-P.03
 Klingler, S. UI-P1.02
 Klitzke, P. MG-1.01
 Klitzsch, N. GE-1.02, GE-P.14,
 GE-P.15, S4-1.03
 Klotzsche, A. **EM-3.01, EM-3.04**
 Klügel, A. VU-1.03
 Kneisel, C. S4-1.01, S4-P.03,
 S4-P.04
 Köhn, D. **SM-3.03, SM-4.02**
 Kolhey, P. **S1-4.02**
 Konietzky, H. UI-P1.01, UI-P2.02
 Kopp, H. MG-1.02, MG-P.03,
 MG-P.04, MG-P.05,
 MG-P.07, MG-P.09,
 SO-1.03, SO-P1.05
 Kordes, T. EM-P12, S1-P.03
 Korn, M. SM-1.04, SM-P.06,
 SM-P.07, SO-2.02,
 SO-5.03, SO-P2.09
 Korte, M. **S1-1.03**, S1-P.04,
 S1-P.06
 Kostial, D. S4-2.03, S4-P.06
 Kotowski, P. EM-P12
 Kotowski, P. O. **S1-P.02**
 Koyan, P. **EM-P.01**, UI-1.01
 Kozlovskaya, E. SM-P.05
 Krabbenhoeft, A. MG-P.03
 Krage, M. **GD-P.04**
 Krastel, S. MG-P.06, VU-1.03
 Krauß, F. SM-4.05
 Krause, C. S1-4.04
 Krawczyk, C. M. S2-P.05
 Krieger, D. **SM-3.02**
 Krieger, M. GR-P.03
 Kriegerowski, M. SO-P2.03, **SO-P2.04**
 Kronberg, E. S1-3.02
 Krueger, F. SO-4.02
 Krüger, F. SO-3.01, **SO-5.01**,
 SO-P2.07
 Kruschwitz, S. EM-3.02, EM-4.03,
EM-4.04
SO-P1.01, SO-P1.10
 Kruse, T. SO-4.02
 Krylov, A. BL-1.02
 Kück, J. S2-3.02
 Kudla, W. S1-4.04
 Kührt, E. S1-4.04
 Kukowski, N. GD-P.03
 Kulücke, C. S1-P.03
 Kulüke, C. **S1-2.01**
 Kummerow, J. SO-1.04
 Kunz, J. S4-1.01, **S4-P.03**
 Kusche, J. S1-3.01

L

Ladage, S. MG-1.04
 Landeau, M. GD-2.02
 Lang, J. EM-4.01
 Lange, D. MG-1.02, **SO-1.03**, S
 O-P1.05
 Lärm, L. EM-3.01
 Lawton, D. SM-1.02
 Lay, M. **BL-1.01, BL-P.02**
 Lay, T. SO-7.05
 Lay, V. **GO-P.01, SM-1.02**
 Lazcano, S. SM-P.06
 Le Pichon, A. SO-2.04
 Lehmann, K. **SO-7.04**
 Lehmann, P. **S2-P.06**
 Lehr, J. **SO-4.04**
 Leineweber, P. **SM-P.03**
 Lenz, A. SM-P.07
 Lenz, K.-F. **VU-1.03**
 Leonhardt, C. UI-P1.06, UI-P2.05
 Lepland, A. BL-1.04
 Lerbs, N. **SM-1.04**
 Leväniemi, H. SM-P.05
 Lhuillier, F. **S1-1.01**
 Li, G. **SO-7.03**
 Limbrock, J. K. **GE-2.02**
 Lindenfeld, M. **SO-5.02**
 Lindhorst, K. VU-1.03
 Lindner, F. SO-5.03
 Linke, M. **SM-3.01**
 Liu, J. S1-1.02
 Liu, T. EM-3.04
 Löer, K. **SO-P1.04**
 Lorenz, K. S2-P.06
 Lowe, M. **GR-P.01**
 Lück, E. **UI-P1.03**
 Lucke, B. UI-P1.04
 Lühr, H. S1-3.01, **S1-3.03**
 Lührs, M. **GE-P.03**
 Lüschen, E. GT-P.04
 Lüth, S. **S2-P.05**
 Lüttgau, J. VU-P.01
 Lutz, R. MG-1.04

M

Ma, B. **MG-P.05**
 Maas, C. **GD-P.05**
 Mackens, S. **S4-1.03**
 Madritsch, H. S2-0.01
 Madsen, A. MG-1.01
 Mai, F. **GE-2.01**
 Mai, M. SO-3.04
 Maier-Rotter, M. **GO-P.09**
 Maierhofer, T. **S4-P.01**, S4-P.05

Malehmir, A.	SM-4.03	Müller, T.	GO-P.01
Männel, B.	GT-1.02	Müller-Petke, M.	EM-4.01, EM-4.02, EM-4.05
Manske, L.	GD-P.05	Munoz, G.	WP-1.03
Manzi, M.	BL-1.03	Mustac, M.	SO-3.02
Marc, O.	S4-0.01	Mützel, M.	EM-4.04
Marchetti, E.	SO-2.04		
Marsden, P.	SM-4.03	N	
Martin, T.	EM-2.02, GE-1.04 , GE-P.12, UI-P2.03	Nagel, S.	EM-4.03 , EM-4.04
Masteller, C.	S4-0.01	Nasser, H. I.	GD-1.03
Matzander, U.	EM-P.12	Nawa, V.	GE-P.07
Mauerberger, A.	SO-1.02	Neffgen, N.	S4-3.01
Mauk, B.	EP-1.04	Nesbor, D.	GR-P.03
Mauke, R.	S2-2.03	Nickschick, T.	GE-P.05
Maupin, V.	SO-1.02	Niederleithinger, E.	S2-2.03 , S2-3.01
Mecking, R.	SM-P.03	Niemz, P.	SO-P1.13
Meier, T.	GR-P.01, SM-3.03, SO-P1.01, SO-P1.08, SO-P1.10, SO-P1.11, SO-P1.12, SO-P2.10, UI-P1.06, UI-P2.05	Noell, U.	UI-P1.07
Mersmann, H.	GE-P.11	Nöllenburg, R.	EM-P.12, S1-P.03
Metz, M.	SO-P2.08	Nooshiri, N.	SO-2.03
Meyer, M.	EM-2.01	Nordsiek, S.	GE-P.08
Meyer, R.	GE-1.03	Nowaczyk, N.	S1-1.02 , S1-P.04
Meyer, U.	EM-P.06		
Micallef, A.	EM-1.01	O	
Mielentz, F.	S2-2.03	Obrocki, L.	SM-P.03
Mieth, J. Z. D.	S1-P.07	Ochs, J.	GE-1.02
Minkley, W.	S2-2.02, S2-P.01	Ogasawara, H.	SO-1.04
Minshull, T.	MG-P.10	Ohlrau, R.	S1-2.03
Mischo, H.	GO-P.01	Ohrnberger, M.	SO-3.01 , SO-P2.04
Mittag, R.	SO-P2.05	Olbert, K.	SO-P2.10
Moeck, I.	SM-P.01	Omlin, A.	SO-P1.11
Mohamed Hedi, I.	GD-1.03	Opelt, M.	S2-P.06
Mokelke, G.	SO-6.03	Orlowsky, D.	S2-2.01
Molinari, I.	SO-P1.09	Ormos, T.	GS-1.04
Mollaret, C.	S4-2.02	Orth, F.	BL-P.03
Morawietz, S.	S2-P.02	Ostaszewski, K.	EP-1.02 , S1-P.07
Mörbe, W.	EM-1.04 , EM-2.02, EM-P.10	Ostner, S.	S1-2.04
Morf, G.	UI-1.02	Ozer, I.	S2-1.03
Morgenstern, A.	UI-P1.01	Özer, M.	GT-1.01
Morgenstern, R.	UI-P2.02	Ozeren, S.	SO-1.03
Motschmann, U.	S1-4.04, EP-2.01 EP-2.02		
Mountjoy, J.	MG-P.06	P	
Mozaffari, A.	EM-3.04	Panovska, S.	S1-1.03, S1-P.04
Mudler, J.	S4-2.01	Papenberg, C.	MG-P.03
Müller, B.	S2-P.02	Pappa, F.	GD-1.01, GR-P.02 , S1-3.04
Müller, C.	GR-P.03	Parsi, M.	S1-2.04
Müller, D.	VU-1.02	Passarelli, L.	SO-2.01, SO-2.03
Müller, F.	EM-2.02	Paul, A.	MG-1.02, SO-P1.05
Müller, M.	SO-1.04	Paul, C.	UI-P2.03
		Pavlin, L.	UI-P2.06
		Pérez, L.	S4-3.02
		Petersen, F.	MG-1.02, MG-P.04, SO-1.03
		Petersen, G.	SO-P2.03 , SO-P2.04

Petersen, H. GT-P.02
 Pfurr, N. **WP-1.04**
 Philipp, J. S2-2.02, **S2-2.04**,
 S2-P.01, S2-P.03
 Pickartz, N. **S1-2.03**
 Pierdominici, S. BL-1.02
 Pilger, C. SO-2.04
 Pisconti, A. **S2-P.03**
 Pita de la Paz, C. S4-3.02
 Plenefisch, T. SO-1.01, SO-P2.06
 Plenkens, K. **S2-2.02**, S2-2.04,
 S2-P.01, S2-P.03
 Ploetz, A. **SO-4.02**
 Plötz, A. SO-5.01
 Pohl, C. VU-1.01
 Pohle, M. S4-3.03
 Polkowski, Y. EM-P.12
 Popp, T. S2-2.02, S2-P.01
 Portier, N. GT-1.02
 Prabhu, A. S1-3.02
 Preciado, A. SM-P.06
 Preugschat, B. EM-2.02

R

Rabbel, W. AG-P.02, GE-1.01,
 S1-2.03, SM-3.03,
 SM-4.02, SM-P.02,
 SM-P.03, SO-7.02,
 UI-P2.01
 Radic, T. S4-2.01, UI-1.03
 Rahman, M. A. **UI-P2.07**
 Ramírez Gaytan, A. **SM-P.06**
 Ramotoroko, C. EM-P.09
 Rassmann, K. S1-2.03
 Rath, V. GE-P.01
 Reich, M. S2-3.02
 Reiche, S. BL-P.04, **MG-P.01**
 Reimers, C. UI-P2.01
 Rein, T. **SO-2.02**
 Reinhardt, K. GE-P.02
 Reiter, K. S2-P.02
 Renner, J. GT-P.01
 Rezaii, N. **GE-2.03**
 Riahi, N. SO-P1.04
 Richter, H. **UI-P1.05**
 Richter, I. EP-1.02, S1-4.04
 Richter, T. S2-P.06
 Ridderbusch, J. **SO-P2.01**
 Riedel, M. BL-P.04
 Riedel, M. MG-P.04
 Ringler, A. SO-P1.14
 Ripepe, M. SO-2.04
 Rochlitz, R. **EM-1.02**, EM-1.04,
 EM-2.02, EM-4.02

Röckel, T. S2-P.02
 Römer, A. GE-P.08
 Römhild, L. GE-P.01
 Ronczka, M. GE-1.03, **GE-P.04**
 Rosat, S. GT-1.02
 Rosenzweig, T. **S2-3.02**
 Röser, A. **SM-1.03**
 Roth, L. EP-1.03
 Rothmund, S. **S4-2.04**
 Roud, S. C. **S1-P.05**
 Roux, P. SO-5.03
 Rovere, M. MG-P.03
 Royer, J.-Y. SO-1.03
 Rücker, C. GE-2.01, GE-P.02,
 GE-P.10, UI-P2.04
 Ruiz, S. SO-2.01
 Rümpler, G. SO-5.02

S

Sadeghisorkhani, H. SO-1.02
 Saenger, E. H. SO-4.03, SO-P1.03,
 SO-P1.04
 Sakic, P. SO-1.03
 San Martin, J. SO-6.02
 Sanchez, S. **S1-1.04**, S1-4.01
 Sarnecki, P. SM-P.06
 Sasaki, K. S1-4.04
 Saur, J. EP-1.03, EP-1.04,
 EP-2.04
 Sauter, M. GT-P.05
 Savage, M. SM-1.02
 Savvateev, Y. **EM-P.02**
 Schäfer, F. **GT-1.02**
 Scheiblecker, M. S1-2.04
 Schennen, S. EM-3.03, **EM-P.05**
 Schepp, L. **GT-P.01**
 Schicht, T. GE-P.02, SM-2.02,
 UI-P1.04
 Schiffler, M. EM-1.04, **EM-2.01**,
 EM-2.02
 Schindewolf, A. SO-7.01
 Schlegel, S. **EP-1.03**
 Schlittenhardt, J. S4-P.02, SO-P2.11
 Schmalzl, J. S1-P.02
 Schmid, F. **MG-P.04**, **MG-P.04**
 Schmidt, V. **S1-P.01**, S1-P.02
 Schmitt, D. SM-1.02
 Schnabel, M. MG-P.04, MG-P.07,
 MG-P.08
 Schneider, C. **EM-1.03**
 Schöffel, M. **EP-1.04**
 Schön, M. SM-4.03
 Schöne, T. GT-1.02
 Schöner, W. S4-P.05

U

Uhle, D. **VU-P.01**
Ullmann, T. S4-1.01
Umlauf, J. **SO-5.03**
Uta, P. SO-1.01

V

Valenzuela **SO-2.01**
Malebrán, C.
van der Kruk, J. EM-3.01, EM-3.04
van der Wal, W. GR-P.02
van Laaten, M. **SO-4.01**
Vanderborght, J. EM-3.01
Vasyura-Bathke, H. SO-3.03, **SO-3.04**,
SO-P2.04, SO-P2.07
Vereecken, H. EM-3.01, EM-3.04
Vergoz, J. SO-2.04
Vervelidou, F. S1-3.01
Vietor, T. S2-0.01
Viola, S. SO-7.01
Virgil, C. S1-2.01, S1-P.03
Vogt, J. S1-3.01
Voigt, C. GT-1.02
Voigt, M. **SM-2.01**, SO-1.04
Vollmer, D. SO-5.01
Völlmer, J. S4-3.03
von Barckhausen, U. MG-P.04
von Bülow, R. **GE-P.14**
von Hartmann, H. GT-P.04, SM-P.01
von Ketelhodt, J. **BL-1.03**
von Suchodoletz, H. S4-3.03
Vött, A. SM-P.03
Vouillamo, N. S4-2.04

W

Wack, M. S1-3.02
Wagner, F. S4-P.05
Wagner, F. M. **S4-2.02**
Walda, J. **SM-4.04**, VU-P.01
Walter, F. SO-5.03
Walter, M. S2-1.02
Walter, T. SO-6.02
Walter, T. R. VU-1.02
Wansing, A. GD-1.02
Wansing, A. D. **SO-P1.02**
Warburton, R. GT-1.02
Wawerzinek, B. S2-P.05
Weber, M. MG-P.04
Wegler, U. SO-4.01
Weidle, C. SO-P1.11, SO-P1.12
Weigelt, E. **MG-1.03**, **MG-1.03**
Weiß, B. MG-P.01
Weise, F. EM-4.04

Weiss, B. P. S1-4.04
Weller, A. GT-P.03
Werban, U. **S4-3.03**, UI-P1.02
Werner, A. GE-P.02
Werner, C. **SO-4.03**, **SO-P1.03**

Weßel, J. S1-P.02
Weske, M. **SM-P.02**
Wessel, J. EM-P.12
Wetzig, E. SO-P1.11
Weyer, A. EM-P.12
Weyers, A. S1-P.02
Weymer, B. EM-1.01
Wicht, J. S1-1.04, **S1-4.01**,
S1-4.02
SO-P1.14

Widmer-
Schnidrig, R.
Wiebe, M. **MG-P.06**
Wiedemann, M. S2-2.02, S2-P.01
Wiederhold, H. GE-1.03, GE-P.04,
UI-P2.07
Wiesehöfer, T. GD-P.04
Wiesenberg, L. **SO-P1.12**
Wießner, C. UI-P1.07
Wilken, D. AG-P.02, GE-1.01,
S1-2.03, SM-3.03,
SM-P.03

Winsemann, J. EM-4.01, SO-1.01
Witt, T. **VU-1.02**
Wolf, F. AG-P.01, MG-1.02
Wolf, F. N. **SO-P1.05**
Wolff, F. S1-4.04
Wondrak, J. **GE-P.02**
Wookey, J. S2-P.03
Wunderlich, T. **AG-P.01**, GE-1.01
Wünnemann, K. GD-P.05

X

Xia, Y. **MG-P.07**

Y

Yogeshwar, P. EM-1.04, EM-2.02,
EM-P.03, EM-P.10,
EM-P.12

Z

Zampa, L. EM-2.02
Zang, A. SO-P1.13
Zeiß, J. **SO-P1.07**
Zhao, Q. UI-P2.07
Zibulski, E. **GE-P.15**
Ziesch, J. GT-P.03
Ziesche, G. **SM-P.08**
Zirkler, A. UI-P1.05

