

---

67. Jahrestagung der  
Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft

Aachen  
26. – 29. März 2007

---

### **Recommended citation**

Deutsche Geophysikalische Gesellschaft (Ed.) (2007): 67. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft: 26.–29. März 2007 in Aachen, Aachen: RWTH, 451 p.

DOI: <http://doi.org/10.2312/dgg67>

ISSN: 0344-7251

## Veranstalter

---

Deutsche Geophysikalische Gesellschaft e.V. (DGG)  
 Geschäftsstelle:  
 Dr. Marco Bohnhoff  
 c/o GeoForschungsZentrum Potsdam  
 Telegrafenberg, 14473 Potsdam  
 Telefon: 0331-2881327  
 Email: bohnhoff@gfz-potsdam.de  
 Internet: www.dgg-online.de

## Ausrichter

---

RWTH Aachen  
 (Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen)  
 Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik  
 Templergraben 55, 52056 Aachen  
 Email: dekanat-fb5@rwth-aachen.de  
 Internet: www.fb5.rwth-aachen.de

## Tagungsort

---

RWTH Aachen  
 Kármán-Auditorium, Eilfschornsteinstr. 15, 52062 Aachen

## Organisationsteam und Ansprechpartner

---

Tagungsleiter	C. Clauser	0241 8094825	c.clauser@geophysik.rwth-aachen.de
Stv. Tagungsleiter	R. Littke	0241 8095748	littke@lek.rwth-aachen.de
Tagungsbüro	Y. Abdel-Fattah	02461 613008	y.fattah@fz-juelich.de
Programm	N. Klitzsch	0241 8096773	klitzsch@geophysik.rwth-aachen.de
Posterausstellung	N. Klitzsch	0241 8096773	klitzsch@geophysik.rwth-aachen.de
Firmenausstellung	A. Esser	02241 142393	andrea.esser@fit.fraunhofer.de
Internet & Web	N. Klitzsch	0241 8096773	klitzsch@geophysik.rwth-aachen.de
Exkursionen	R. Littke	0241 8095748	littke@lek.rwth-aachen.de

## Tagungsbüro

---

Das Tagungsbüro befindet sich im Foyer des Kármán-Auditoriums.

Öffnungszeiten:

Sonntag (25.3.)	15 bis 18 Uhr
Montag bis Donnerstag (26.-29.3.)	8 bis 15 Uhr

## Webseite

---

[www.dgg2007.rwth-aachen.de](http://www.dgg2007.rwth-aachen.de)

## Email

---

[dgg@geophysik.rwth-aachen.de](mailto:dgg@geophysik.rwth-aachen.de)

---

## Inhaltsverzeichnis

---

Einladung zur Mitgliederversammlung .....	4
Hinweise für Tagungsteilnehmer .....	5
Sponsoren der DGG Tagung 2007 .....	9
Ausstellende Firmen .....	10
Schwerpunktthemen .....	11
Tagungsprogramm .....	13
Programmübersicht.....	14
Tagesübersichten.....	15
Detailprogramm (Zeitplan für Vorträge).....	18
Poster(verzeichnis) .....	26
Werbung .....	34
Raum für Notizen.....	41
Lage- und Gebäudepläne .....	42
Tagungsort .....	42
Kármán-Auditorium .....	44
Gastronomie in der Nähe des Tagungsortes .....	47
Busfahrplan der Linie 13 .....	48

---

## Einladung zur Mitgliederversammlung

---

**M. Bohnhoff, Geschäftsführer der DGG**, bohnhoff@gfz-potsdam.de

Im Namen des Vorstandes der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft (DGG) lade ich alle Mitglieder der DGG zur Mitgliederversammlung ein, die im Rahmen unserer Jahrestagung 2007 in Aachen am

**Mittwoch, 28. März 2007, ab 18 Uhr**

im Raum Fo 5 im Kármán-Auditorium der RWTH Aachen stattfindet. Um zahlreiches Erscheinen wird gebeten.

Tagesordnung:

- Top 1: Begrüßung, Feststellung der fristgerechten Einberufung und der Beschlussfähigkeit
- Top 2: Genehmigung der Tagesordnung
- Top 3: Genehmigung des Protokolls der Mitgliederversammlung vom 8. März 2006 in Bremen
- Top 4: Bericht des Präsidenten
- Top 5: Bericht des Geschäftsführers
- Top 6: Bericht des Schatzmeisters
- Top 7: Bericht der Kassenprüfer und Entlastung des Schatzmeisters
- Top 8: Bericht des deutschen Herausgebers des Geophysical Journal International
- Top 9: Bericht der Redaktion der DGG- Mitteilungen
- Top 10: Kurzberichte der Vorsitzenden / Sprecher der DGG- Komitees und Arbeitskreise
- Top 11: Komitees: Publikationen, Öffentlichkeitsarbeit, Internet, Jahrestagungen, Ehrungen, Firmen, Mitglieder, Studierende, Studienfragen, Kooperationen
- Top 12: Arbeitskreise: Angewandte Geophysik, Elektromagnetische Tiefenforschung, Dynamik des Erdinnern, Hydro- und Ingenieurgeophysik, Induzierte Polarisation, Geothermik, Geschichte der Geophysik
- Top 13: Aussprache
- Top 14: Anträge und Beschlüsse
- Top 15: Entlastung des Vorstandes
- Top 16: Wahlen (designierter Präsident, Schatzmeister, Beisitzer)
- Top 17: Bestätigung des Vorstandes
- Top 18: Wahl der Kassenprüfer
- Top 19: Verschiedenes

---

## Hinweise für Tagungsteilnehmer

### Anmeldung zur Tagung

---

Bitte melden Sie sich vor Ort im Tagungsbüro (im Foyer des Kármán-Auditoriums) an. Die Anmeldung, die Ausgabe der Tagungsunterlagen usw. erfolgt am Sonntag, 25.3., von 15 bis 18 Uhr und am Montag (26.3.) ab 8 Uhr.

Tagungsgebühren:

DGG-Mitglieder	95 €
Nichtmitglieder*	135 €
Junioren (bis 30 Jahre)	50 €
Begleitpersonen**	40 €
Tageskarte	40 €
Tageskarte für Junioren (bis 30 Jahre)	10 €

- \* Der Differenzbetrag zwischen Mitgliedern und Nichtmitgliedern wird bei einem Beitritt zur DGG auf einen Jahresbeitrag angerechnet.
- \*\* Berechtigt zur Teilnahme an der Eröffnungsveranstaltung und den Abendveranstaltungen. Die Teilnahme am festlichen Abendessen (am Montagabend) setzt die Anmeldung und Bezahlung bis zum 20. März 2007 voraus.

In den Tagungsgebühren enthalten sind eine durchgehend bewachte Garderobe, Kaffeepausen, Freigetränke und Imbiss bei den Postersessions, das festliche Abendessen im Krönungssaal des Aachener Rathauses (außer für Tagesgäste) sowie der Tagungsband.

### Unterkünfte

---

Informationen zu Übernachtungsmöglichkeiten finden Sie auf der Webseite der Tagung unter dem Punkt Hotelreservierungen. Dort haben Sie auch die Möglichkeit, Ihr Hotel online zu buchen.

Hotels in Aachen können Sie auch über den Verkehrsverein Bad Aachen e. V. buchen. Für Buchungen und Auskünfte wenden Sie sich bitte an:

Verkehrsverein Bad Aachen e.V.  
aachen incoming service  
Postfach 10 22 51  
52022 Aachen  
fon: +49 (0)241 / 180 29 - 50 oder -51  
fax: +49 (0)241 / 180 29 30

### Zuschüsse für Studierende

---

Studierende können bei der Tagungsleitung Zuschüsse zu ihren Reisekosten erhalten, falls sie an der Tagung mit einem Vortrag oder Poster teilnehmen. Ein formloser Antrag ist unter Angabe des Tagungsbeitrages bis 15.01.2007 an die Tagungsleitung zu richten.

### Firmenausstellung

---

Firmen, Institute und sonstige Organisationen stellen von Dienstag, 27.3.2007, bis Donnerstag, 29.3.2007, im Zugangsbereich der Tagung (im Kármán-Auditorium) ihre tagungsbezogenen Dienstleistungen und Informationen aus.

## Jobcenter

---

Während der Jahrestagung der DGG haben Studierende und Absolventen erstmals die Möglichkeit, in angenehmer Atmosphäre (in einem separaten Raum mit Catering) mit Firmenvertretern in Kontakt zu kommen und sich z. B. direkt für ein Praktikum, eine Diplomarbeit oder Anstellung zu bewerben. Das Job Center befindet sich im großen Senatssitzungssaal im Hauptgebäude der RWTH Aachen (Erdgeschoss, links).

Das Jobcenter hat Dienstag und Mittwoch (27. und 28.3.) von 10 bis 17 Uhr geöffnet.

Teilnehmende Firmen:

- RWE Dea AG
- E.ON AG
- ANTARES Datensysteme GmbH
- Baker Hughes INTEQ

Weiterhin können Firmen, Einrichtungen und Studierende/Absolventen Stellenangebote und/oder Bewerbungen - max. jeweils 2 DIN A4-Seiten - an Stellwänden (im Kármán-Auditorium in unmittelbarer Nähe der Firmen- und Posterausstellung) öffentlich sichtbar platzieren.

## Begrüßungsabend

---

Der Begrüßungsabend findet am Sonntag, den 25.03.2006, ab 18:00 Uhr im „Besitos“ (Kapuziner Karree, Kapuzinergraben 19, in der Nähe des Theaters) statt.

## Eröffnungsveranstaltung

---

Die feierliche Eröffnungsveranstaltung wird am 26.3.2006 um 15:15 Uhr im Kármán-Auditorium der RWTH Aachen Saal Fo1 (siehe Plan auf S. 7) stattfinden. Das Programm beinhaltet Grußworte der Tagungsorganisatoren, der Repräsentanten der RWTH Aachen sowie des Präsidenten der DGG. Des Weiteren werden Ehrungen und Preisverleihungen stattfinden.

Den Eröffnungsvortrag wird Herr Prof. Dr. Harry Vereecken vom Forschungszentrum Jülich halten.

## Festliches Abendessen (Gesellschaftsabend)

---

Der traditionelle Gesellschaftsabend der DGG findet in Form eines festlichen Abendessens am Montag, dem 26.03.2007, ab 19 Uhr im Krönungssaal des Aachener Rathauses statt.

## Öffentlicher Abendvortrag

---

Der Abendvortrag der DGG findet am Mittwoch, den 28.03.2007 um 20:00 Uhr Hörsaal Fo5 im Kármán-Auditorium der RWTH Aachen statt. Der Abendvortrag richtet sich auch an die Öffentlichkeit. Prof. Peter Höppke von der Münchner Rückversicherung wird über Globale und Lokale Georisiken referieren.

## Plenarvorträge

---

Während der Tagung werden insgesamt sechs Plenarvorträge gehalten, die eine Übersicht über den aktuellen Stand einzelner Forschungsgebiete geben. Die Plenarvorträge orientieren sich thematisch an den Schwerpunktthemen und finden am 27., 28. und 29.3. jeweils morgens um 8 Uhr und am 26., 27. und 28.3. jeweils um 14 Uhr statt (siehe Programm).

## DGG-Kolloquium

---

Das DGG-Kolloquium findet am Mittwoch, den 28.03.2007, von 9:00 bis 12:45 im Raum Fo3 im Kármán-Auditorium statt. Das Thema „NMR – Anwendungen der Kernspinresonanz in der Geophysik“ wird in vier Übersichtsvorträgen von jeweils 45 Minuten behandelt.

Zum Kolloquium erscheint ein spezieller Sonderband der Mitteilungen der DGG, in dem die Vorträge in gekürzter Form abgedruckt sind. Dieser Sonderband ist zum Preis von 5 € im Tagungsbüro erhältlich.

## Studentischer Abend

---

Der Studentische Abend findet am 27.3.2007 ab 20:30 Uhr, im Parkside (Südstr. 54, Aachen) statt. Beim Studentischen Abend soll kurz der Masterstudiengang „Applied Geophysics“, der gemeinsam von der TU Delft, der ETH Zürich und der RWTH Aachen angeboten wird, und das Ergebnis der Firmenumfrage zu aktuellen Berufsaussichten von Absolventen (B.Sc. und M.Sc. Geowissenschaften und Geophysik) vorgestellt werden. Danach bietet sich beim geselligen Beisammensein die Chance für vertiefende Gespräche.

## Hinweise für Vorträge

---

- Für einen Vortrag ist eine Gesamt-Präsentationszeit von 15 Minuten vorgesehen, inklusive der Zeit für die Diskussion.
- Die Sitzungsleitung wird dem Vortragenden nach 10 Minuten ein Zeichen geben. Bedenken Sie, dass Sie auf die Diskussion Ihres Vortrages verzichten, wenn Sie volle 15 Minuten sprechen!
- Die Zeiten müssen unbedingt eingehalten werden, um die Synchronisation der Parallelsitzungen zu gewährleisten, und nachfolgende Vortragende nicht zu benachteiligen.

In den Hörsälen stehen PC bereit, auf die Vortragspräsentationen rechtzeitig aufgespielt sein müssen. Um einen ungestörten Ablauf zu gewährleisten gelten die folgenden Regeln:

1. Die Vortrags-Präsentationen für die beiden Vormittagssitzungen müssen bis 18:00 Uhr des Vortages auf die Rechner im Vortragssaal übertragen sein;
2. Vortrags-Präsentationen am Montagmorgen müssen vor 9 Uhr am Montag auf die Rechner im Vortragssaal übertragen sein.
3. Direkt vor einer Sitzung können keine Vorträge mehr aufgespielt werden (Ausnahme: Montagmorgen, s.o.).

Die Mindestausstattung der PCs ist wie folgt: Windows XP, Office 2002 SP3 (inkl. PowerPoint), Quicktime 6.5.1, Adobe Reader 6.0.

Medien zur Übertragung: USB Stick oder CD

## Hinweise für Poster

---

Während der Tagung gibt es zwei Postersessions:

Session I – Kategorien: S1, S2, BP, GD, PL, EP, SM, GV, MA, ME und MG – findet am Dienstag, dem 27.3.2007, von 15:15 bis 18:00 statt. Bitte hängen Sie die Poster am Montag (26.3.) auf und nehmen sie am Dienstag nach der Session (nach 18 Uhr) wieder ab.

Session II – Kategorien: S3, S4, S5, UI, SO, EM, AG, GE, RD und VU – findet am Mittwoch, dem 28.3.2007, von 15:15 bis 18:00 statt. Bitte hängen Sie die Poster am Mittwochvormittag (28.3., bis 12 Uhr) auf und nehmen sie am Donnerstag wieder ab.



Während der Postersessions muss mindestens einer der Autoren am Poster anwesend sein. Für Poster stehen Posterwände und Material zum Anbringen der Poster zur Verfügung, welches Sie im Tagungsbüro erhalten.

Die drei besten Poster und Vorträge von jungen Erst-Autorinnen und -Autoren (bis 32 Jahre) werden auf Grund der Bewertung von Gutachtern prämiert.

Bitte beachten:

Poster müssen (erstmalig) im Querformat angelegt sein: Breite: 150 cm, Höhe: 100 cm.

## Exkursionen

---

Im Rahmen der Tagung werden drei Exkursionen angeboten. Sie finden am 29.3.2007 um 14 Uhr statt. Während die Teilnahme an den ersten beiden Exkursionen kostenlos ist, müssen für die Stadtführung leider 5,- Euro Teilnehmergebühr eingefordert werden.

1. Besuch im Forschungszentrum Jülich
  - Besichtigung des "*Biomolekularen NMR-Zentrums*" im Forschungszentrum Jülich
  - Besichtigung des neuen Hochleistungsrechners System IBM Blue Gene/L, JUBL im Zentrum für Angewandte Mathematik (ZAM)
2. Geologie der Aachener Quellen und des steinzeitlichen Feuersteinbergbaus  
Treffpunkt: vor dem Hauptgebäude der RWTH Aachen
3. Stadtführung durch Aachen

## Sponsoren der DGG Tagung 2007

Forschungszentrum Jülich  
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Das Forschungszentrum Jülich ist eines von 15 Helmholtz-Forschungszentren in Deutschland.

**e.on**

E.ON ist der weltweit größte private Strom- und Gasunternehmen mit einem Umsatz von gut 56 Mrd € und rund 80.000 Mitarbeitern.

**RWE**



Die RWE Dea AG ist ein leistungsstarkes Upstream-Unternehmen mit zahlreichen Aktivitäten in der Exploration und Produktion von Erdgas und Erdöl im In- und Ausland.

**DMT**



DMT ist Ingenieurdienstleister in den Bereichen Bergbau und Lagerstätten-erkundung, Bauwesen, Maschinen- und Anlagentechnik sowie Gebäude-sicherheit.

**Angewandte Gravimetrie**  
**Dr. H. Richard Schulz**

Das Büro Dr. Schulz bietet ausschließlich Leistungen im Bereich der angewandten Gravimetrie an.

**proRWTH!**  
Freunde und Förderer der RWTH Aachen e.V.

"Fördern, auszeichnen, netzwerken" - das sind die Schwerpunkte von proRWTH, den Freunden und Förderern der RWTH Aachen e.V.

Deutsche  
Forschungsgemeinschaft  
**DFG**

Die DFG ist die zentrale Selbstverwaltungseinrichtung der Wissenschaft zur Förderung der Forschung an Hochschulen in Deutschland.

**Sun**  
microsystems

*The Network is the Computer™*

We make the education net work.

Suns Engagement seit Gründung im Jahr 1982: von der Grundschule bis zum Hochschul- und Forschungsbereich.



Zweck der VAG e.V. ist die Förderung der Bildung und Erziehung der Studierenden der Geowissenschaften an der RWTH Aachen.

## Ausstellende Firmen

---

Folgende Firmen, Institute und Organisationen stellen von Dienstag, 27.3.2007, bis Donnerstag, 29.3.2007, im Zugangsbereich der Tagung (im Kármán-Auditorium) ihre tagungsbezogenen Dienstleistungen und Informationen aus:

### **GEOTOMOGRAPHIE**

#### **Geophysikalische Spezialmessungen**

Am Tonnenberg 18  
56567 Neuwied  
[www.geotomographie.de](http://www.geotomographie.de)

### **IES Gesellschaft für Integrierte Explorationssysteme mbH**

Ritterstr. 23  
52072 Aachen  
[www.ies.de](http://www.ies.de)

### **DMT GmbH,**

Geschäftsfelder Exploration & Geosurvey  
Am Technologiepark 1  
45307 Essen  
[www.dmt.de](http://www.dmt.de)

### **Antares Datensysteme GmbH**

Rudolf-Diesel-Str. 6-8  
28816 Stuhr  
[www.antares-geo.de](http://www.antares-geo.de)

### **RWE Dea**

Überseering 40  
22297 Hamburg  
[www.rwedea.com](http://www.rwedea.com)

### **Gravity Consult GmbH**

Landgrafstieg 3c  
07743 Jena  
[info@gravity-consult.de](mailto:info@gravity-consult.de)

### **Institut Dr. Foerster**

In Laisen 70  
72760 Reutlingen  
[www.foerstergroup.de](http://www.foerstergroup.de)

### **GEOSYM - Geophysikalische Messsysteme**

Forstgrund 16  
30629 Hannover  
[www.geosym.de](http://www.geosym.de)

### **IGM Ingenieurgesellschaft für geophysikalische Meßtechnik mbH**

Untere St. Leonhart-Str. 16  
88662 Überlingen  
[www.igm-geophysik.de](http://www.igm-geophysik.de)

### **Baker Hughes INTEQ GmbH**

Baker-Hughes-Straße 1  
29221 Celle  
[www.bakerhughes.de](http://www.bakerhughes.de)

### **Geophysik GGD mbH**

Ehrensteinstr. 33  
04105 Leipzig  
<http://www.geophysik-ggd.com/>

### **Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe**

Stilleweg 2  
30655 Hannover  
[www.bgr.bund.de](http://www.bgr.bund.de)

### **Allied Associates Geophysical Ltd.**

Postfach 1141  
46301 Borken  
[www.allied-germany.de](http://www.allied-germany.de)

### **Geowissenschaftliches Zentrum der Universität Göttingen,**

Abt. Angewandte Geologie / Dr. Ghergut  
Goldschmidtstr. 3  
37077 Göttingen  
<http://www.gzg.uni-goettingen.de/>

### **Angewandte Gravimetrie**

**Dr. Richard Schulz**  
Steg 8  
74538 Rosengarten  
[www.angewandte-gravimetrie.de](http://www.angewandte-gravimetrie.de)

### **E.ON AG**

E.ON-Platz 1  
40479 Düsseldorf  
<http://www.eon.com>

---

## Schwerpunktt Themen

Zu den Schwerpunktt Themen gibt es fünf im Convenor-System organisierte Symposien. Diese finden in englischer Sprache statt.

- Symposium S1: Hydrogeophysics
- Symposium S2: Geothermal Energy
- Symposium S3: High-Performance Computing in Geoscience
- Symposium S4: Sedimentary Basin Dynamics
- Symposium S5: Scientific Drilling

### S1: Hydrogeophysics

---

The shallow subsurface environment is an extremely important zone that yields much of our water resources and also serves as the repository for municipal, industrial and government waste. This subsurface zone also acts as a buffer and filter for contaminants introduced by agricultural and industrial activities. As safe and effective use of the subsurface environment is a major challenge facing our society, there is a great need to improve our understanding of the shallow subsurface. Management of the subsurface environment requires investigation methods that have both high accuracy and resolution across a variety of spatial scales. In this respect, a new discipline of hydrogeophysics has evolved, which aims at combining knowledge from various disciplines like hydrology, hydrogeology, soil physics and geophysics thereby striving to improve subsurface characterization and monitoring. Geophysical methods offer the advantage of being able to measure subsurface structures and to estimate flow and transport properties in a non-invasive and dynamic manner. The purpose of this section is to discuss recent developments within the emerging discipline of hydrogeophysics, including those associated with basic theory, geophysical instrumentation improvement, development of emerging technologies, geophysical data inversion approaches and joint inversion approaches aiming to fuse hydrological, hydrogeological and geophysical data, and development of petrophysical models relating geophysical, hydrological and geological parameters. We also solicit hydrogeophysical case studies that illustrate the potential, benefits, or limitations of hydrogeophysical investigations over a wide range of spatial and temporal scales in both the vadose zone and groundwater. This session should be of interest to researchers across a variety of disciplines, including those investigators who are interested in using geophysical methods and data for improved subsurface characterization and monitoring as well as those who are active in hydrogeophysical research.

### S2: Geothermal Energy

---

organised under the auspices of the International Heat Flow Commission of IASPEI.

Geothermal energy can be used directly, e.g. for heating, cooling, and many other direct uses. Direct conversion into electricity traditionally requires high enthalpy steam fields. Binary cycles permit to convert also low to medium enthalpy geothermal resources into electric energy. New technologies allow to establish engineered geothermal systems by designed stimulation of high-temperature, low-permeability bedrock.

We solicit contributions focusing in particular on scientific and technological methods for harnessing geothermal energy in regions lacking natural steam reservoirs. We welcome in particular papers and posters for Enhanced Geothermal Systems, but also for hydrothermal systems and deep and shallow borehole heat exchangers.

### S3: High-Performance Computing in Geoscience

organised under the auspices of the Aachen Institute for Advanced Study in Computational Engineering Science (AICES).

Realistic models of phenomena in the Geosciences involve physical, chemical, and biological processes on different scales ranging from smallest structures to regional or global phenomena. The resulting computer simulations require a large amount of computing time and storage. New developments in computer science and mathematics have not sufficiently found their way into all areas of geoscientific simulations. Therefore, this symposium is meant as a forum to further strengthen the exchange of ideas between computer scientists, mathematicians, and geoscientists.

The symposium is subdivided into the following two parts:

- Techniques (parallel, cluster and grid computing, visualization, performance analysis)
- Geoscientific Results (tectonics, seismology, geodynamics)

### S4: Sedimentary Basin Dynamics

Sedimentary basins are compartments of the upper crust in which mineral and organic material has accumulated over millions of years. This material undergoes partial transformation at temperatures ranging from 0° to 300°C and pressures up to approximately 100 MPa. Due to their longevity and high contents of chemically metastable components, sedimentary basins can be regarded as long-term reactors. The substance turnover and product composition of such a geo-reactor depends essentially on both externally and internally operating processes which affect the sedimentary basin fill over long geological periods. The main objective of this priority topic of the DGG meeting is to quantify the major processes that control or affect the formation and evolution of sedimentary basins, including the fluid inventory, using modern geoscientific methods. Processes of major interest are a) structure of the upper and lower crust as deduced from geophysical data, b) strain and stress in the upper crust leading to crustal extension and compression, c) evolution of fault zones, their influence on the crustal rheology and their effects on large scale and regional subsidence as well as on the geothermal field, d) inherent processes of a sedimentary system such as compaction, salt movement and fluid generation under the control of the external factors mentioned above, e) petrophysical properties and transport processes, their dependence on compaction, fault zones and the geothermal field as well as associated fluid-rock interactions, and f) the supply and redistribution of sedimentary matter acting as a mirror of tectonic activities and climate changes.

### S5: Scientific Drilling

Scientific drilling has become an invaluable tool in exploring geological structures and understanding physico-chemical processes at depth. Pre- and post-drilling geophysical and while-drilling borehole-geophysical methods offer a major contribution to the calibration and verification of surface models. We seek contributions that focus on the role of geophysical techniques in scientific drilling, such as – but not limited to – verification of results from geophysical pre-site surveys, impact of and progresses in borehole geophysics, findings from combined vertical and moving seismic profiling, inversion of stress and strain and rock properties from borehole geophysical data, handling of the scale problem between surface and borehole measurements, use of boreholes as deep observatories, and visions of advanced geophysical applications in future drilling projects.

---

## Tagungsprogramm

### Abstracts

---

Verzeichnisse der Autoren und Beiträge sowie die Abstracts finden Sie auf der beiliegenden CD.

### Thematische Einordnung der Beiträge

---

AG Archäogeophysik	GV Gravimetrie
AT Atmosphärenphysik	MA Magnetik
BP Bohrlochgeophysik und Petrophysik	ME Erdmagnetismus
EM Elektromagnetik	MG Marine Geophysik
EP Extraterrestrische Geophysik	PL Planetologie
GD Geodynamik	RD Georadar
GE Geoelektrik	SM Seismik
GF Geodäsie und Fernerkundung	SO Seismologie
GR Geothermie und Radiometrie	UI Umwelt- und Ingenieurgeophysik
GS Geschichte der Geophysik	VU Vulkanologie

Thematische Einordnung der Schwerpunktthemen:

S1 Hydrogeophysics	S4 Sedimentary Basin
S2 Geothermal Energy	S5 Scientific Drilling
S3 High-Performance Computing in	

Die Schwerpunktthemen werden ausschließlich in englischer Sprache angeboten.

## Programmübersicht

	Sonntag 25.3.	Montag 26.3.	Dienstag 27.3.	Mittwoch 28.3.	Donnerstag 29.3.	
8:00		Registrierung (Tagungsbüro, Foyer Kármán-Auditorium)	Plenarvortrag (Fo5)	Plenarvortrag (Fo5)	Plenarvortrag (Fo5)	
8:30						
9:00		BP (Fo7)	SO (Fo5)	UI (Fo7)	GE RD (Fo7)	
9:30						
10:00		GD (Fo6)	GS GV MA ME (Fo7)	SO (Fo5)	SO (Fo5)	
10:30		SM (Fo5)	S1 (Fo3)	S3 (Fo6)	S4 (Fo6)	
11:00		S1 (Fo3)	S2 (Fo6)	Kolloquium (Fo3)	S5 (Fo3)	
11:30		Kaffeepause				
12:00		Pressekonferenz (Fo7)	MG (Fo7)	UI (Fo7)	EM (Fo7)	
12:30						
13:00		PL EP (Fo6)	S1 (Fo3)	SO (Fo5)	SO (Fo5)	
13:30		SM (Fo5)	S2 (Fo6)	S3 (Fo6)	S4 (Fo6)	
14:00		S1 (Fo3)	S2 (Fo6)	Kolloquium (Fo3)	S5 (Fo3)	
14:30		AG (Fo6)				
15:00		Mittagspause				
15:30		Mittagspause				
16:00		Mittagspause				
16:30		Plenarvortrag (Fo5)	Plenarvortrag (Fo5)	Plenarvortrag (Fo5)	Exkursionen	
17:00	Registrierung (Tagungsbüro, Kármán- Auditorium)	Kaffeepause		Kaffeepause		
17:30		Eröffnungs- veranstaltung (Fo1)		Eröffnungs- veranstaltung (Fo1)		
18:00		Postersession I (Kármán-Auditorium)		Postersession II (Kármán-Auditorium)		
18:30		S1,S2, BP,GD,PL,EP, SM,GV,MA,ME,MG		S3,S4,S5, UI,SO,EM,AG, GE,RD,VU		
19:00		Eröffnungsvortrag (Fo1)				
19:30		Arbeits- gemeinschaften	Arbeits- gemeinschaften	DGG Mitglieder- versammlung (Fo5)		
20:00		Festliches Abendessen (Conference Dinner) im Krönungssaal des Rathauses		Öffentlicher Abendvortrag (Fo5)		
20:30						
21:00			Studentischer Abend			
21:30						

## Tagesübersichten

### Montag, 26.3.

Raum	Fo3	Fo5	Fo7	Fo6
09:00 - 10:45	Symposium 1: Hydrogeophysics	Seismik	Bohrlochgeophysik und Petrophysik	Geodynamik
10:45 - 11:15	Kaffeepause			
11:15 - 12:45	Symposium 1: Hydrogeophysics	Seismik	Pressekonferenz und Übergabe der Urkunden der RWE Stipendiaten	Planetologie / Extraterrestrische Geophysik
12:45 - 14:00	Mittagspause			
14:00 - 14:45	Plenarvortrag (Fo5) <b>Hydrogeophysics: challenges and opportunities</b> Prof. Andrew Binley Dept. of Environmental Science, Lancaster University, U.K.			
14:45 - 15:15	Kaffeepause			
15:15 - 16:45	Eröffnungsveranstaltung (Fo1) <u>Grußworte</u> Rektor RWTH Prof. Dr. B. Rauhut; Dekan Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik Prof. Dr. F. M. Meyer <u>Preisverleihungen, Ehrungen</u>			
17:00 - 18:00	Eröffnungsvortrag (Fo1) <b>Terrestrische Umweltforschung und Geophysik: quo vadis?</b> Prof. Dr. Harry Vereecken Forschungszentrum Jülich GmbH			
18:00 – 19:00	<b>Arbeitsgemeinschaften:</b> IP (Fo 6)			
19:00 - 22:00	Festliches Abendessen im Krönungssaal des Rathauses			



**Dienstag, 27.3.**

Raum	Fo3	Fo5	Fo6	Fo7
08:00 - 08:45	Plenarvortrag (Fo5) <b><i>A Decade Experience of NMR Applications to Formation Evaluation in China</i></b> Prof. Lizhi Xiao China University of Petroleum, Beijing			
09:00 - 10:45	Symposium 1: Hydrogeophysics	Seismologie	Symposium 2: Geothermal Energy	Geschichte der Geophysik / Gravimetrie / Magnetik / Erdmagnetismus
10:45 - 11:15	Kaffeepause			
11:15 - 12:45	Symposium 1: Hydrogeophysics		Symposium 2: Geothermal Energy	Marine Geophysik
12:45 - 14:00	Mittagspause			
14:00 - 14:45	Plenarvortrag (Fo5) <b><i>Senarios Toward a Sustainable Development of Geothermal Energy</i></b> <b>Prof. Sachio Ehara</b> Kyushu University, Fukuoka (Japan)			
14:45 - 15:15	Kaffeepause			
15:15 - 18:00	<b>Postersession I:</b> S1,S2,BP,GD,PL,EP,SM,GV,MA,ME,MG (Kármán-Auditorium)			
18:00 - 20:00	<b>Arbeitsgemeinschaften</b> (Kármán-Auditorium) Publikationen (18:00-19:30; SG13), Angewandte Geophysik (18:00-20:00; SG413) EM Tiefenforschung (18:00-19:00; SG23), Geschichte der Geophysik (19:00-20:00; SG23) Projektbesprechung Meier/Bochum (18:00-20:00; Fo6)			
20:30 - 22:00	Studentischer Abend im Parkside, Südstr. 54 Aachen (Kontakt/Programm:Caroline Dorn)			

**Mittwoch, 28.3.**

Raum	Fo3	Fo5	Fo6	Fo7
08:00 - 08:45	Plenarvortrag (Fo5) <b>Mantle Convection and Plate Tectonics, a view from high performance computing</b> Prof. Hans-Peter Bunge Department für Geo- und Umweltwissenschaften, Universität München			
09:00 - 10:45	DGG-Kolloquium <i>NMR – Anwendungen der Kernspinresonanz in der Geophysik</i>	Seismologie	Symposium 3: High-Performance Computing in Geoscience	Umwelt- und Ingenieurgeophysik
10:45 - 11:15	Kaffeepause			
11:15 - 12:45	DGG-Kolloquium <i>NMR – Anwendungen der Kernspinresonanz in der Geophysik</i>	Seismologie	Symposium 3: High-Performance Computing in Geoscience	Umwelt- und Ingenieurgeophysik
12:45 - 14:00	Mittagspause			
14:00 - 14:45	Plenarvortrag (Fo5) <b>Tectonics of Sedimentary Basin Formation and Deformation</b> Prof. Sierd Cloetingh Faculty of Earth and Life Sciences, Vrije Universiteit, Amsterdam			
14:45 - 15:15	Kaffeepause			
15:15 - 18:00	<b>Postersession II:</b> S3,S4,S5,UI,SO,EM,AG,GE,RD,VU (Kármán-Auditorium)			
18:00 - 20:00	DGG Mitgliederversammlung			
20:00 - 21:00	Öffentlicher Abendvortrag (Fo5): <b>Globale und lokale Georisiken</b> Prof. Dr. Peter Höppe GeoRisikoforschung, Münchener Rück			

**Donnerstag, 29.3.**

Raum	Fo6	Fo5	Fo3	Fo7
08:00 - 08:45	Plenarvortrag (Fo5) <b>Induced seismicity in deep geothermal boreholes</b> <b>Prof. Hiroaki Niitsuma</b> Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, Sendai (Japan)			
09:00 - 10:45	Symposium 4: Sedimentary Basin Dynamics	Seismologie	Symposium 5: Scientific Drilling	Geoelektrik / Georadar
10:45 - 11:15	Kaffeepause			
11:15 - 12:45	Symposium 4: Sedimentary Basin Dynamics (bis 11:45) / Archäogeophysik (ab 12:00)	Seismologie	Symposium 5: Scientific Drilling	Elektromagnetik
12:45 - 14:00	Exkursionen			

## Detailprogramm (Zeitplan für Vorträge)

### Montag, 26.3.

Raum	Fo3		Fo5	
9:00	S1	Juliane Arnold et al.: Permeability prediction for low porosity rocks by mobile NMR and model theory, considering the thickness of pore...	SM	Carsten Dinske & Serge Shapiro: Dynamics of Hydraulic-Fracturing Related Microseismicity
9:15	S1	Sophia Anferova et al.: On-line NMR Core Scanner	SM	Vitaly Polisky et al.: Giant wave attenuation in partially saturated fractured rocks
9:30	S1	Martina Braun & Ugur Yaramanci: Determining resistivity and water content from magnetic resonance sounding: Assessment of...	SM	Henning Zöllner & Thomas Schicht: Aktive Seismik im Salinar
9:45	S1	Marian Hertrich et al.: Topography effects in 2-D magnetic resonance tomography (MRT)	SM	Tobias Müller & Miroslav Brajanovski: Characteristic frequencies of seismic attenuation in fractured porous media
10:00	S1	Niklas Linde et al.: Understanding self-potentials in the vadose zone	SM	Tobias Müller & Julianna Toms: Seismic signatures of partially saturated rocks with fractal pore fluid distribution
10:15	S1	Andreas Hördt et al.: Case histories of hydraulic conductivity estimation with Induced Polarisation at the field scale	SM	Tobias Jokisch et al.: Aspekte der ultrahochauflösenden 3D-Seismik mit einem parametrischen Schallstrahler
10:30	S1	Norbert Klitzsch et al.: Interpretation of SIP Field Measurements - Potential and Limits	SM	Daniel Köhn & Thomas Bohlen: Elastische Full-Waveform-Inversion im Zeitbereich
10:45	<b>Kaffeepause</b>			
11:15	S1	Sébastien Lambot et al.: Electric and hydraulic property identification from time-lapse GPR Green's function inversion	SM	Oliver Gaede et al.: Stress Sensitivity of Crystalline and Sedimentary Rocks
11:30	S1	Jan van der Kruk & Robert W. Jacob: Inversion of dispersive GPR data recorded across precipitation-induced waveguides	SM	Florian Bleibinhaus et al.: Applying full waveform inversion to refraction seismic surveys
11:45	S1	Ute Wollschläger et al.: Measuring soil water content with ground-penetrating radar	SM	Stefan Dümmling et al.: Geschwindigkeitsmodellbildung: Ein Vergleich zwischen Prestack Stereotomographie und...
12:00	S1	Koen Kooper et al.: Incorporating near surface layering for improved surface water content estimates	SM	Rüdiger Misiak et al.: High resolution 3D-seismic survey for the exploration of an open pit brown coal mine
12:15	S1	Jürgen Schmalholz & Ugur Yaramanci: Georadar methods for improved small-scale soil moisture assessment	SM	Daniel Chalbaud & Stefan Buske: Kirchhoff prestack depth migration of the CINCA-95 wide-angle dataset at Kirchhoff prestack depth...
12:30	S1	Jens Tronicke et al.: Integrating hydrogeophysical data: a comparison of selected techniques	SM	Hamdy Seisa: Is the Optimum XY spacing of the Generalized Reciprocal Method (GRM) constant or variable?
12:45				
13:00	<b>Mittagspause</b>			
14:00	<b>Plenarvortrag (Fo5)</b> <b>Prof. Andrew Binley: Hydrogeophysics: challenges and opportunities</b> (Dept. of Environmental Science, Lancaster University, U.K.)			
15:15	<b>Eröffnungsveranstaltung (Fo1)</b>			
17:00	<b>Eröffnungsvortrag (Fo1)</b> <b>Prof. Dr. Harry Vereecken: Terrestrische Umweltforschung und Geophysik: quo vadis?</b> (Forschungszentrum Jülich GmbH)			
18:00	<b>Arbeitsgemeinschaften: IP (Fo 6)</b>			
19:00	<b>Festliches Abendessen (Conference Dinner) im Krönungssaal des Rathauses</b>			

Raum	Fo6		Fo7	
9:00	GD	André Fahl et al.: Der Einfluss des Querverhältnisses in der Rayleigh-Bénard-Konvektion		
9:15	GD	Alexandra Möller & Ulrich Hansen: Plumes und Thermals - Mögliche Erklärungen für Coronae auf der Venus	BP	Matthias Jungmann: Texturbasierte Gesteinsklassifizierung in elektrischen Bildern von Bohrlochwänden
9:30	GD	Ales Spicak et al.: Internal tectonic structure of the Central American Wadati-Benioff zone based on analysis of aftershock sequences	BP	Christian Koller: Ermittlung geohydraulischer Parameter anhand der Analyse von Probenmaterial und Auswertung...
9:45	GD	Ingo Kock & Katrin Huhn: Numerical study of localization and micromechanics in a granular material	BP	Jörg Renner et al.: Physical Properties of Fontainebleau Sandstone and Their Relationship to Grain Contiguity
10:00	GD	Heijn W. van Gent et al.: Paleostress estimation from 3D seismic data, Groningen gas field, The Netherlands	BP	Gunther Baumann et al.: Der Einfluss von paramagnetischem Eisen in NMR-Messungen an synthetischen und natürlichen...
10:15	GD	Thomas Jahr: Hochauflösende Neigungsbeobachtungen am Geodynamischen Observatorium Moxa: Instrumentierung, Daten...	BP	Klaus Buckup: Porositätsbestimmungen aus Impuls-Neutron-Neutron-Messungen
10:30	GD	André Gebauer et al.: Einfluss strukturgeologischer und lithologischer Merkmale auf Deformationen der oberen Kruste	BP	Philipp Buckup: Korrelation von Bohrlochmessergebnissen und Proben
10:45	<b>Kaffeepause</b>			
11:15	PL	Sara Schade & K. Wünnemann: Analysis on meteorite crater size – recent advances in numerical modeling of specific target properties		Pressekonferenz der DGG, u.a. zum Thema: "Erdwärme ohne Erdbeben?" anschließend: Übergabe der Urkunden für die RWE Dea Stipendiaten des IDEA-League-Studiengangs "Applied Geophysics"
11:30	PL	Dr. Kai Wünnemann et al.: Evaluation of the Tsunami hazard resulting from meteorite impacts: Specification of wave characteristic...		
11:45	PL	Nico Schilling et al.: Elektromagnetische Induktion im subkrustalen Ozean von Europa durch zeitlich variable magnetosphärische...		
12:00	EP	Manfred Thiel et al.: Modellierung des Neutralgasplumes am Südpol des Saturnmondes Enceladus		
12:15	EP	A. Müller et al.: Das azimuthale Geschwindigkeitsprofil der inneren und mittleren Saturnmagnetosphäre		
12:30				
12:45				
13:00	<b>Mittagspause</b>			
14:00	<b>Plenarvortrag (Fo5)</b> <b>Prof. Andrew Binley: Hydrogeophysics: challenges and opportunities</b> (Dept. of Environmental Science, Lancaster University, U.K.)			
15:15	<b>Eröffnungsveranstaltung (Fo1)</b>			
17:00	<b>Eröffnungsvortrag (Fo1)</b> <b>Prof. Dr. Harry Vereecken: Terrestrische Umweltforschung und Geophysik: quo vadis?</b> (Forschungszentrum Jülich GmbH)			
18:00	<b>Arbeitsgemeinschaften: IP (Fo 6)</b>			
19:00	<b>Festliches Abendessen (Conference Dinner) im Krönungssaal des Rathauses</b>			

**Dienstag, 27.3.**

Raum	Fo3		Fo5	
<b>8:00</b>	<b>Plenarvortrag (Fo5)</b> <b>Prof. Lizhi Xiao: A Decade Experience of NMR Applications to Formation Evaluation in China</b> (China University of Petroleum, Beijing)			
<b>9:00</b>	<b>S1</b>	Johannes Köstel et al.: Characterization of solute transport at different unsaturated flow states in an undisturbed soil monolith using...	<b>SO</b>	Peter Bormann & Joachim Saul: Determination of broadband body-wave magnitudes mB and mBc using an automatic near real-time...
<b>9:15</b>	<b>S1</b>	Ursula Noell et al.: Time Lapse Resistivity Tomography: Comparison of Different Methods	<b>SO</b>	Peer Bormann et al.: Can the standard broadband body-wave magnitude mB substitute Mwp, which is till now commonly...
<b>9:30</b>	<b>S1</b>	Christoph Oberdörster et al.: Consideration of Different Error Sources Influencing the Derivation of Bulk Soil Electrical Conductivity...	<b>SO</b>	Peter Bormann et al.: The new IASPEI standard magnitudes: Necessity, measurement regulations and first results of their application
<b>9:45</b>	<b>S1</b>	Seho Hwang et al.: Geophysical well logging and multi-level electrical conductivity and temperature monitoring for evaluating...	<b>SO</b>	Rolf Gutdeutsch et al.: Die Bedeutung der orthogonalen und der Chi-Quadrat-Regression zur Interpretation der Beziehung zwischen...
<b>10:00</b>	<b>S1</b>	Ralf Brauchler et al.: Characterization of strong heterogeneous media using hydraulic travel time tomography	<b>SO</b>	Thomas Will Muench et al.: Earthquake relocation in Germany allowing for Pn-anisotropy
<b>10:15</b>	<b>S1</b>	Dr. Reinhard Kirsch & BurVal working group: Geophysical mapping of buried valley aquifer systems: internal structure and vulnerability	<b>SO</b>	Nicolai Gestermann et al.: Lektionen aus dem nordkoreanischen Kernwaffentest vom 9. Oktober 2006
<b>10:30</b>	<b>S1</b>	Dr Dirk Orlowsky & Dr Bodo Lehmann: Seismic modeling of a rising mine water table	<b>SO</b>	Cyrrill Eckhardt, Wolfgang Rabbel: Untersuchung seismischer Anisotropie mittels Receiver Functions im Bereich des...
<b>10:45</b>	<b>Kaffeepause</b>			
<b>11:15</b>	<b>S1</b>	Marco Naujoks et al.: Observation of time-dependent gravity variations and gravimetric 3D modelling: A new tool in the evaluation of...		
<b>11:30</b>	<b>S1</b>	Peter Dietrich et al.: Research Platform MOSAIC (Model-Driven Site Assessment, Information & Control)		
<b>11:45</b>	<b>S1</b>	Oliver Mohnkei et al.: Increasing success rates of drill holes for water exploration in Uganda using MRS		
<b>12:00</b>	<b>S1</b>	W. Rühaak et al.: 3D-Finite-Volume groundwater and heat-transport modeling with non-orthogonal grids, using a coordinate...		
<b>12:15</b>	<b>S1</b>	Thies Beilecke et al.: Hydrogeophysical Investigations of Shallow Structures with Shear Waves Under Sealed Urban Conditions		
<b>12:30</b>	<b>S1</b>	Gerhard Zacher et al.: Radiomagnetotelluric (RMT) investigation of a levee - in comparison with other geophysical and geotechnical...		
<b>12:45</b>				
<b>13:00</b>	<b>Mittagspause</b>			
<b>14:00</b>	<b>Plenarvortrag (Fo5)</b> <b>Prof. Sachio Ehara: Senarios Toward a Sustainable Development of Geothermal Energy</b> (Laboratory of Geothermics, Department of Earth Resources Engineering, Kyushu University, Fukuoka, Japan)			
<b>14:45</b>	<b>Kaffeepause</b>			
<b>15:15</b>	<b>Postersession I S1,S2,BP,GD,PL,EP, SM,GV,MA,ME,MG</b> <b>(Kármán-Auditorium)</b>			
<b>18:00</b>	<b>Arbeitsgemeinschaften</b> Publikationen (18:00-19:30; <b>SG13</b> ); Angew. Geophysik (18:00-20:00; <b>SG413</b> ); EM Tiefenforschung (18:00-19:00; <b>SG23</b> ); Geschichte der Geophysik (19:00-20:00; <b>SG23</b> ); Projektbesprechung Meier/Bochum (18:00-20:00; <b>Fo6</b> )			
<b>20:30</b>	<b>Studentischer Abend im "Parkside", Südstr. 54 Aachen</b>			

Raum	Fo6		Fo7	
8:00	<b>Plenarvortrag (Fo5)</b> <b>Prof. Lizhi Xiao: A Decade Experience of NMR Applications to Formation Evaluation in China</b> (China University of Petroleum, Beijing)			
9:00	S2	Ladislav Rybach: The geothermal conditions in the Rhine Graben	GS	Heinrich Soffel: Der Forscher Gustav Angenheister (1917-1991) und seine Unterstützung durch die Deutsche...
9:15	S2	Stefan Baisch et al.: Stimulation Induced Seismicity – Physical Mechanisms and Seismic Risk	GS	Franz Jacobs et al.: Das Mintrop-Patent D.R.P.371963 - Im Namen des Reichs
9:30	S2	J.F. Wellmann et al.: Uncertainties associated with 3D geological modeling of fault-dominated geothermal fields(Upper Rhine Graben)	GV	Thomas Klügel & Hartmut Wziontek: Atmosphärische Schwereeffekte: Modell-Zeitreihen aus 3-dimensionalen Wettermodellen
9:45	S2	Thomas Kohl: Numerische Analysen von hydraulischen Stimulationen	GV	Heidrun Schütze et al.: Der Tuffschlot bei Ebersbrunn, Westsachsen – Modellierung von Bouguer-Schwere und magnetischem Totalfeld
10:00	S2	Günter Zimmermann et al.: Well path design and stimulation treatments at the geothermal research well GtGrSk4/05 in Groß Schönebeck	MA	Hans Albert Roeser: Geomagnetische Beobachtungen an einer Blitzeinschlagstelle
10:15	S2	Andreas Reinicke et al.: Hydraulic Proppant Fracturing and Formation Damage in a Geothermal Sedimentary Reservoir	ME	Jon Rotvig: Multiple jets in rapidly rotating thermal convection
10:30	S2	Eckart Hurtig et al.: The drillhole RWTH-1 Super C Aachen: development of the temperature field		
10:45	<b>Kaffeepause</b>			
11:15	S2	Roland Wagner & Ernst Rohner: Improvements of Thermal Response Tests	MG	Katrin Huhn et al.: POSEIDON cruise P336 to the Cretan Sea, north of Crete – an overview about the first results
11:30	S2	Yoonho Song et al.: Ground surface temperature distribution of Korea	MG	Martin Engels et al.: Erste Ergebnisse der marinen Magnetik vor Indonesien im Übergang vom Sunda- zum Banda-Bogen: Anomalien...
11:45	S2	Youngmin Lee et al.: Evidence of Climate Change in Korea inferred from borehole temperatures	MG	Kai Berglar et al.: Entwicklung der Forearc-Becken Nordsumatras
12:00	S2	Norbert Ochmann et al.: Microearthquake Survey at the Buranga Geothermal Prospect, Western Uganda.	MG	Sebastian Krastel et al.: Sedimentstrukturen auf dem Galizischen Schelf (NW-Spanien): Erste Ergebnisse der Poseidon-Fahrt Pos342
12:15	S2	Klaus Bauer et al.: Seismic profiling across the geothermal site at Gross Schoenebeck, Northeast German basin (I-GET project)	MG	Stefan Ladage et al.: Structural Architecture of the Northern Sumatra Accretionary Complex – Results from the "SeaCause" Marine...
12:30	S2	Wolfgang Jacoby et al.: The use of geothermal energy in Iceland – an overview		
12:45	S2	Christoph Clauser: Influencing factors for the desirability of geothermal energy		
13:00	<b>Mittagspause</b>			
14:00	<b>Plenarvortrag (Fo5)</b> <b>Prof. Sachio Ehara: Scenarios Toward a Sustainable Development of Geothermal Energy</b> (Laboratory of Geothermics, Department of Earth Resources Engineering, Kyushu University, Fukuoka, Japan)			
14:45	<b>Kaffeepause</b>			
15:15	<b>Postersession I S1,S2,BP,GD,PL,EP, SM,GV,MA,ME,MG</b> <b>(Kármán-Auditorium)</b>			
18:00	<b>Arbeitsgemeinschaften</b> Publikationen (18:00-19:30; <b>SG13</b> ); Angew. Geophysik (18:00-20:00; <b>SG413</b> ); EM Tiefenforschung (18:00-19:00; <b>SG23</b> ); Geschichte der Geophysik (19:00-20:00; <b>SG23</b> ); Projektbesprechung Meier/Bochum (18:00-20:00; Fo6)			
20:30	<b>Studentischer Abend im "Parkside", Südstr. 54 Aachen</b>			

**Mittwoch, 28.3.**

Raum	Fo3	Fo5
8:00	<b>Plenarvortrag (Fo5)</b> <b>Prof. Hans-Peter Bunge: Mantle Convection and Plate Tectonics, a view from high performance computing</b> (Geophysik, Department für Geo-und Umweltwissenschaften, LMU München)	
9:00	<b>Kolloquium</b>  F. Stallmach und W. Schönfelder: NMR-Methoden zur Untersuchung gesteinsphysikalischer und geotechnischer Parameter.	<b>SO</b> Joerg Schlittenhardt et al.: The potential of combined seismological and differential InSAR processing in a CTBT verification scenario
9:15		<b>SO</b> Sigward Funke et al.: Das lokale seismische Netz SXNET in Sachsen - Konzept, Ergebnisse, Bebenfolge Werdau August/September 2006
9:30		<b>SO</b> Martin Knapmeyer: Lokalisierung von Erdbeben mit sehr dünn besetzten Netzwerken und ungenauen Daten
9:45		<b>SO</b> Barbara Hofmann et al.: A combined amplitude-spectra time-trace inversion to study moment tensors of weak local seismicity at the...
9:50	<b>Kolloquium</b>  F. Casanova, J. Perlo und B. Blümich: Development of single-sided NMR probes for imaging and spectroscopy.	<b>SO</b> Tran Thanh Tuan et al.: Analysis of osculation points on the H/V ratio
10:00		<b>SO</b> Denis Anikiev et al.: Source Location by a Diffraction Stack
10:15		<b>SO</b> Lars Ceranna & Alexis Le Pichon: Lokalisierung von akustischen Quellen in Zentraleuropa mit Hilfe von Infraschallarrays
10:30		
10:45	<b>Kaffeepause</b>	
11:15	<b>Kolloquium</b>  H. F. Thern und T. Kruspe: Entwicklung und Anwendung von Untertage NMR.	<b>SO</b> Ingo Wölbern et al.: Eine Abbildung seismologischer Strukturen unter dem Altiplano-Puna-Plateau in den Zentralanden gewonnen...
11:30		<b>SO</b> Andreas Barth & Friedemann Wenzel: Frequenzabhängige Momententensorinversion am Beispiel Ostafrikas
11:45		<b>SO</b> Johannes Schweitzer: Untersuchungen zum Nordseebeben vom 7. Januar 2007
12:00		<b>SO</b> Gunnar Jahnke et al.: Seismische Verifikation des nordkoreanischen Kernwaffentests vom 9. Oktober 2006 - Möglichkeiten und Grenzen
12:05	<b>Kolloquium</b>  U. Yaramanci und M. Hertrich: Magnetic Resonance Sounding - State of art.	<b>SO</b> Christian Haberland et al.: Velocity structure of the Southern Chilean subduction zone (37° and 39°S) revealed by the TIPTEQ local seismic...
12:15		<b>SO</b> Aysun Nilay Dinc Akdogan et al.: A combined tomographic inversion of two independent amphibious networks in Costa Rica
12:30		
12:45		
13:00	<b>Mittagspause</b>	
14:00	<b>Plenarvortrag (Fo5)</b> <b>Prof. Sierd Cloetingh: Tectonics of Sedimentary Basin Formation and Deformation</b> (Faculty of Earth and Life Sciences, Vrije Universiteit, Amsterdam)	
14:45	<b>Kaffeepause</b>	
15:15	<b>Postersession II - S3,S4,S5,UI,SO,EM,AG,GE,RD,VU</b> (Kármán-Auditorium)	
18:00	<b>DGG Mitgliederversammlung</b> (Fo5)	
20:00	<b>Öffentlicher Abendvortrag (Fo5)</b> <b>Prof. Peter Höpfe: Globale und lokale Georisiken</b> (GeoRisikoforschung, Münchener Rück)	

Raum	Fo6		Fo7	
	<b>Plenarvortrag (Fo5)</b>			
<b>8:00</b>	<b>Prof. Hans-Peter Bunge: Mantle Convection and Plate Tectonics, a view from high performance computing</b> (Geophysik, Department für Geo-und Umweltwissenschaften, LMU München)			
<b>9:00</b>	<b>S3</b>	Dirk Elbeshausen & Kai Wünnemann: Numerical modeling of oblique meteorite impacts in three dimensions	<b>UI</b>	Hauke Petersen & Wolfgang Rabbel: Multisensorische Untersuchungen zum Nachweis von flächenhaften...
<b>9:15</b>	<b>S3</b>	Jacques Ernst et al.: Full-waveform inversion of crosshole georadar data acquired at the Grimsel rock laboratory...	<b>UI</b>	Susanne Wölz et al.: FINOSEIS - Vorerkundung und Monitoring des Baugrunds an der neuen...
<b>9:30</b>	<b>S3</b>	Thomas Bohlen & Daniel Köhn: Parallel 3-D viscoelastic Finite Difference simulation of seismic waves - a snapshot of recent...	<b>UI</b>	Karin Marschall et al.: Kombination von seismischen und geoelektrischen Oberflächenmessungen mit...
<b>9:45</b>	<b>S3</b>	Bernhard Schuberth et al.: Combining Large-Scale Computations of Mantle Convection and 3D Global Wave Propagation for Interpretation...	<b>UI</b>	Christiane Trela & Ernst Niederleithinger: Geophysikalische Untersuchungen zur Zustandsbewertung einer historischen...
<b>10:00</b>	<b>S3</b>	Holger Class & Anozie Ebigbo: Reliability of numerical models for simulating CO2 storage in deep geological formations	<b>UI</b>	Katrin Jaksch et al.: Hochauflösende seismische Messungen an Lehmdeichen
<b>10:15</b>			<b>UI</b>	Hansruedi Maurer et al.: Geophysical investigations of an unstable rock slope
<b>10:20</b>	<b>S3</b>	Markus Geimer: Scalable Trace-Based Performance Analysis of Parallel Applications	<b>UI</b>	Ernst Niederleithinger: Numerische Simulation von Fundamentpfahlprüfungen
<b>10:30</b>			<b>UI</b>	
<b>10:45</b>	<b>Kaffeepause</b>			
<b>11:15</b>	<b>S3</b>	Heiner Igel: Role of High Performance Computing in Seismology	<b>UI</b>	Klaus Lippert et al.: Anwendung geophysikalischer Methoden auf geomorphologische Fragestellungen
<b>11:30</b>			<b>UI</b>	Anita Just et al.: Geoelektrische Messungen (DC) zur Strukturerkundung in einem Salzbergwerk
<b>11:35</b>	<b>S3</b>	Christian Bischof: Parallel Computers Everywhere	<b>UI</b>	Sven Uchtmann: Strukturerkundung in einem Salzbergwerk mit dem Georadar
<b>11:45</b>			<b>UI</b>	Michael Grinat & Wolfgang Südekum: Der Einsatz vertikaler Elektrodenstrecken bei der Erkundung von...
<b>12:00</b>	<b>S3</b>	Ulrich Hansen: Computer Simulations and Numerical Experiments in Geodynamcis	<b>UI</b>	
<b>12:15</b>	<b>S3</b>	Panel Discussion: Computational Infrastructure in the Geosciences	<b>UI</b>	Markus Perk et al.: In-Field Kalibrierung geophysikalischer Daten auf kontaminierten Flächen mit Hilfe des...
<b>12:30</b>			<b>UI</b>	W. Rühaak et al.: Integration of geophysical data into a three-dimensional geometrical model
<b>12:45</b>			<b>UI</b>	Hendrik Paasche & Jens Tronicke: Gemeinsame Inversion geophysikalischer Datensätze: Ein zonierter Ansatz...
<b>13:00</b>	<b>Mittagspause</b>			
	<b>Plenarvortrag (Fo5)</b>			
<b>14:00</b>	<b>Prof. Sierd Cloetingh: Tectonics of Sedimentary Basin Formation and Deformation</b> (Faculty of Earth and Life Sciences, Vrije Universiteit, Amsterdam)			
<b>14:45</b>	<b>Kaffeepause</b>			
<b>15:15</b>	<b>Postersession II - S3,S4,S5,UI,SO,EM,AG,GE,RD,VU</b> (Kármán-Auditorium)			
<b>18:00</b>	<b>DGG Mitgliederversammlung</b> (Fo5)			
<b>20:00</b>	<b>Öffentlicher Abendvortrag (Fo5)</b> <b>Prof. Peter Höppe: Globale und lokale Georisiken</b> (GeoRisikoforschung, Münchener Rück)			



**Donnerstag, 29.3.**

Raum	Fo3	Fo5
<b>8:00</b>	<b>Plenarvortrag (Fo5)</b> <b>Prof. Hiroaki Niitsuma: Induced seismicity in deep geothermal boreholes</b> (Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, Sendai, Japan)	
<b>9:00</b>	S5 Ilmo Kukkonen: Outokumpu Deep Drilling Project, Finland: Overview of aims, results and research	SO Marco Bohnhoff et al.: Spatiotemporal variations of microseismic activity and stress-field orientation at the North Anatolian Fault...
<b>9:15</b>		SO Xueqing Li et al.: Global measurements of the mantle transition zone discontinuities by receiver functions
<b>9:30</b>	S5 André Gebauer et al.: A tiltmeter array associated with the large scale injection experiment at the KTB/Germany: Detection of...	SO D. Wagner et al.: Tomographic results and their interpretations of only active, and active & passive seismic data in Central Java, Indonesia
<b>9:45</b>	S5 Tobias Lau et al.: Modeling a fluid injection in the pilot hole of the "Kontinentale Tiefbohrung der Bundesrepublik Deutschland"(KTB) using...	SO Torsten Dahm & Frank Krüger: Tiefe Spannungsänderungen durch die Kompaktion von Rotliegend-Gasfelder in Norddeutschland...
<b>10:00</b>	S5 Vladimir Cermak & Jan Safanda: Thermal regime and the instability of the fluid column in a borehole	SO Daniela Kühn et al.: Kartierung eines flachliegenden Salzdiapirs unterhalb des dicht bebauten Stadtgebiets Hamburgs durch...
<b>10:15</b>	S5 Ute Trautwein-Bruns et al.: In situ stress determination in the deep geothermal well „RWTH-1“	SO Birger-G. Lühr et al.: MERAMEX - Seismische Struktur unter Zentraljava, ein Teil der Sunda Arc Subduktion
<b>10:30</b>	S5 Christian Hübscher et al.: Capturing a Salt Giant – Riser Drilling Perspectives for the Levantine Basin	SO Thomas Forbriger: Beschränkung von H/V-Analysen durch Neigungen bei langen Perioden
<b>10:45</b>	<b>Kaffeepause</b>	
<b>11:15</b>	S5 Thomas Wiersberg & Jörg Erzinger: On the origin and spatial distribution of gas at seismogenic depths of the San Andreas Fault...	SO Julia Ziehm & Thomas Forbriger: Untersuchung der Stabilität von H/V--Spektralverhältnissen in Bukarest
<b>11:30</b>	S5 Frank Wilhelms et al.: Scientific gain from the drilling of ice cores in combination with geophysical measurements	SO Jörn Groos & Joachim Ritter: Analyse des seismischen Rauschens im Großraum Bukarest
<b>11:45</b>	S5 Sven Petersen et al.: Shallow drilling of hydrothermal sites in the Atlantic using the new lander-type Rockdrill2	SO Olivier Sebe et al.: The shear wave velocity underneath Bucharest City inferred from Love waves
<b>12:00</b>		SO Dr. Stefan Baisch: Injektionsinduzierte Seismizität im Cooper Basin (Australien) - Charakterisierung und Kartierung eines...
<b>12:15</b>		SO Carsten Riedel et al.: The seismicity of Sao Miguel island (Azores) as recorded by permanent and temporal monitoring networks
<b>12:30</b>		SO Britta Wawerzinek et al.: Teleseismische Tomographie in Irland
<b>12:45</b>		
<b>13:00</b>	<b>Mittagspause</b>	
<b>14:00</b>	<b>Exkursionen</b>	

Raum	Fo6		Fo7	
8:00	<b>Plenarvortrag (Fo5)</b> <b>Prof. Hiroaki Niitsuma: Induced seismicity in deep geothermal boreholes</b> (Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, Sendai, Japan)			
9:00	S4	Dieter Franke et al.: Segmentation and volcano-tectonic architecture along the volcanic margin off Argentina/Uruguay, South Atlantic	GE	Bernd Kröger & Ugur Yaramanci: Modellierung von elektrokinetischen Effekten in Gesteinen mit Finiten Elementen
9:15	S4	Jörg Ebbing & Carla Braitenberg: Observations on basin formation and lithospheric features in the Barents Sea	GE	Sabine Kruschwitz & Ernst Niederleithinger: SIP an salzbelasteten Baumaterialien und FE Modellierung von Effekten der Mikrostruktur
9:30	S4	Susanne Nelskamp et al.: Structural evolution of the Dutch underground - a 2D modelling study	GE	Jörn Schünemann: Tensorgeoelektrische Messungen über einer eiszeitlichen Rinne
9:45	S4	Fabien Magri & Ulf Bayer: Deep-fluid flow in the North East German basin: possible transport processes	GE	Christina Flechsig et al.: Geoelektrische Untersuchung einer magmatischen Entgasungszone im Eger-Rift/NW-Böhmen: ...
10:00	S4	Mauro Cacace et al.: A numerical study on the role of rheological contrasts in controlling strain localization and deviation of stresses: the...	RD	Jan Igel: Bestimmung der kleinräumigen Variabilität des Dielektrizitätskoeffizienten von Böden und ihr Einfluss auf Georadar...
10:15	S4	Jens Wollenweber et al.: Experimental investigation of the CO2 sealing efficiency of a regional cap rock in W Germany	RD	Rita Streich & Jan van der Kruk: Characterizing a GPR-antenna system using near-field electric field measurements
10:30	S4	James Mechie et al.: A Seismic Wide-Angle Reflection / Refraction Profile Across the Southern Dead Sea Basin	RD	Norbert Blindow: The University of Münster Airborne 30MHz Ice Radar (UMAIR)
10:45	<b>Kaffeepause</b>			
11:15	S4	Mikhail Baykulov et al.: CRS processing and depth migration of seismic reflection data from Northern Germany.	EM	Ralph-Uwe Börner et al.: Schnelle 3D-TEM-Simulation durch Modellreduktion im Frequenzbereich
11:30	S4	Charlotte M. Krawczyk et al.: A workflow for sub-/seismic structure and deformation quantification of 3-D reflection seismic data...	EM	Antje Franker et al.: Dreidimensionale Finite-Elemente-Simulation magnetotellurischer Messungen unter Berücksichtigung von...
11:45	AG	Christof Müller et al.: Ultra-High-Resolution 2D-3D marine seismic investigation of the Limantepe/Carantina Island archaeological...	EM	Vikas C. Baranwal et al.: Unstructured grid based 2D inversion of plane wave EM data for models including topography
12:00	AG	Mohamed Abdelwahab Mohamed Ali & Hans Burkhardt: 1D, 2D and 3D Inversion of Magnetic and Resistivity Data of the Enclosure Wall in...	EM	Jörn Lange et al.: Automatisierte Inversion von Metalldetektordaten
12:15			EM	Ulrich Schmucker: Zur Interpretation von EM Induktionsdaten durch 2D Modelle in E- und B-Polarisation
12:30			EM	Lasse Rabenstein et al.: Entwicklung eines flugzeuggestützten EM Systems zur Bestimmung von Meereisdicken: Erste...
12:45				
13:00	<b>Mittagspause</b>			
14:00	<b>Exkursionen</b>			

## Poster(verzeichnis)

Während der Tagung gibt es zwei Postersessions:

**Session I** – Kategorien: S1, S2, BP, GD, PL, EP, SM, GV, MA, ME und MG –

findet am Dienstag, dem 27.3.2007, von 15:15 bis 18:00 statt. Bitte hängen Sie die Poster am Montag (26.3.) auf und nehmen sie am Dienstag nach der Session (nach 18 Uhr) wieder ab.

**Session II** – Kategorien: S3, S4, S5, UI, SO, EM, AG, GE, RD und VU –

findet am Mittwoch, dem 28.3.2007, von 15:15 bis 18:00 statt. Bitte hängen Sie die Poster am Mittwochvormittag (28.3., bis 12 Uhr) auf und nehmen sie am Donnerstag wieder ab.

Während der Postersessions muss mindestens einer der Autoren am Poster anwesend sein. Für Poster stehen Posterwände und Material zum Anbringen der Poster zur Verfügung, welches sie im Tagungsbüro erhalten.

## Postersession I

Dienstag, 27.3., 15:15 bis 18:00, Kármán-Auditorium

Kürzel	Autor	Titel
<b>S1: Hydrogeophysics</b>		
S1_38	Helga Wiederhold et al.	Geophysical mapping of buried valley aquifer systems: the project BurVal
S1_335	Christoph Sens-Schoenfelder & Ulrich Wegler	Monitoring the Ground Water Level with Seismic Noise; An Application of Passive Image Interferometry to Merapi Volcano
S1_352	Juliane Arnold et al.	Permeability prediction on low porosity rocks by mobile NMR
S1_358	Annick Fehr et al.	NMR and SIP measurements on rock samples
S1_172	Norman Wagner et al.	Numerische und experimentelle Untersuchungen zur Sensitivitätscharakteristik des TDR-Fachbandkabelsensors in verlustbehafteten und dispersiven Böden
S1_182	Stephan Strehl et al.	Post-Processing of Magnetic Resonance Sounding Data Using the Discrete Wavelet Transform
S1_251	Raphael Dlugosch et al.	Detection of temporal and spatial hydrological variations with the Slingram method
S1_9	Nuha Mohamed & Ugur Yaramanci	Integrated Geophysical Groundwater Prospecting Techniques on Complex Aquifer Structures in Western Sudan.
S1_99	Mathias Bach & Christian Hauck	Inversion of time dependent geoelectric and seismic data for 2D imaging of ice- and watercontent in the upper subsurface
S1_128	Ferdinand Schoemaker et al.	Electrokinetic subsurface characterization
S1_138	Jörg Rings & Christian Hauck	Forward-inverse resistivity modelling and numerical simulation of small-scale water processes in the shallow subsurface
S1_235	Katrin Breede & Andreas Weller	Correlations between electrical parameters derived from multi-salinity-SIP-Measurements and petrophysical properties
S1_151	Alexis Maineult et al.	Self-potential variations induced by periodic pumping tests at Kemnader See, Bochum
S1_266	Jens Tronicke & Urs Böniger	Multi-offset vertical radar profiling: basic concepts and processing strategies
S1_292	Matthias Strahser et al.	Near Surface Seismoelectric Field Measurements - Combined Interpretation and Improved Field Technique

<b>S2: Geothermal Energy</b>		
S2_373	Ralf Junker et al.	The GeneSys-Project at the GEOZENTURM Hannover – actual state and outlook for the locations Hannover and Horstberg
S2_118	R. Pechinig et al.	Prediction of Thermal Properties for Mesozoic Rocks of Southern Germany
S2_211	Margarete Vasterling et al.	Formation and detection of electric anisotropy in artificially fractured rocks
S2_218	Gerard Munoz et al.	Magnetotelluric measurements in the vicinity of the Groß Schönebeck geothermal site
S2_117	Andreas Koch et al.	Use of Exploration Wells to Improve Geothermal Reservoir Models
S2_127	Petr Dedecek et al.	Long-term monitoring of the air-ground temperature coupling under the different surface conditions - the four years completed
S2_157	Seong-Kyun Kim et al.	Sensitivity Analyses of Heat-Transfer Simulations in a Closed-Loop Geothermal Heat-Pump System
S2_162	Darius Mottaghy & Lydia Dijkshoorn	Implementing a new effective finite difference formulation for borehole heat exchangers into a heat transport code
S2_269	Iulia Ghergut et al.	Comparative evaluation of tracer tests in deep crystalline and sedimentary, candidate geothermal reservoirs in Germany
S2_282	Michael Kühn et al.	Mineral trapping of CO <sub>2</sub> in operated hydrogeothermal reservoirs
S2_298	Michael Kühn et al.	Interaction of a multi-fractured rock system with fluid flow, mass and heat transport, and chemical reactions
S2_316	Eva Schill & Thomas Kohl	Improved assessment of exhumation rates in the Alpine orogen using 3D numerical temperature model and fission track data
S2_320	Jessica Bublitz et al.	Optimisation of 3D geological models for geothermal prospection using geophysical inversion methods (Soulz-sous-Forêts, France)
S2_339	Mario Mürmann et al.	Anhydrite cementation patterns on the core scale
S2_347	Manuel Blumenthal et al.	Numerical simulation of a tracer test from the EGS test site Soultz-sous-Forêts in France
S2_359	Lydia Dijkshoorn	Designing a new effective finite difference formulation for borehole heat exchangers
S2_374	Hans Sulzbacher	Model Predictions for Cyclic Methods in the GeneSys Project
S2_114	Katharina Becker et al.	Anisotropic Seismic Modelling within the I-GET Project
<b>Bohrlochgeophysik und Petrophysik</b>		
BP_45	Wiete Schönfelder et al.	Charakterisierung der Porenraumstruktur von Karbonat-Gesteinen verschiedener Genese
BP_63	Regina Kappes et al.	Bestimmung von Porositätstypen in Karbonaten mittels NMR-Spektroskopie
BP_64	Firas Alali et al.	Dependence of NMR and SIP Parameters on Clay Content
BP_108	Sabine Hunze & Thomas Wonik	Lithologische und strukturelle Charakteristika des Lake Bosumtwi Impaktraters, Ghana: Interpretation der Televiewer Bilder
BP_113	Klaus Lehmann	Bohrlochkorrektur für Gamma-Ray-Logs - Strategien für die Praxis
BP_200	Sven Nordsiek & Andreas Weller	Spektrale Induzierte Polarisation an Lignit
BP_256	Annegret Raschick	Skaleneffekt bei Messungen der Induzierten Polarisation im Bohrloch, an der Erdoberfläche und an Kernproben
BP_293	M. A. Strutz et al.	Messmethoden zur Bestimmung elastischer Moduln von Gesteinsproben mittels Ultraschall
BP_323	Zhizhan Wang et al.	Application of Magnetic Resonance Mud Logging for Rapid Reservoir Evaluation
BP_348	Norbert Zisser & Georg Nover	Anisotropy of permeability and complex resistivity of sandstones from a tight gas reservoir subjected to hydrostatic pressure

<b>Geodynamik</b>		
GD_42	Marc Holland et al.	Characterization of a Regional Fault and Fracture Network using a multiscale approach - A study on overpressured Carbonates, Jebel Shams, Oman.
GD_212	Andreas Wittwer et al.	Wide-angle seismic investigation of the central Java subduction zone
GD_263	A.S. Lindeque et al.	A Near Vertical Seismic Reflection Profile Across the Beattie Magnetic Anomaly, South Africa
GD_277	U. Micksch et al.	The Seismogenic Coupling Zone in Southern Central Chile, 38° S: A Reflection seismic image of the subduction zone (Project TIPTEQ)
<b>Gravimetrie</b>		
GV_14	H.-M. Münch et al.	Saisonale Änderung von Schwere und elektrischem Bodenwiderstand an einer Verwerfung in der Niederrheinischen Bucht
GV_50	Corinna Kroner et al.	Geodynamische Signale in der Schwere
GV_136	H. Richard Schulz & Karin U. Kessler-Schulz	Verbesserung der Geländekorrektur beim Einsatz der Mikrogravimetrie
GV_247	Zuzana Alasonati Tasarova et al.	Gravity Field Analysis of Western Carpathians and a preliminary Three-dimensional Density Modelling based on the CELEBRATION Seismic Experiment.
GV_291	G. Reitmayr et al.	Gravimetrie auf einer 1100 km langen Schlitten-Traversal von Patriot Hills zum Südpol
<b>Magnetik und Erdmagnetismus</b>		
MA_232	Angelika Ullmann et al.	2D- und 3D-Modellierung magnetischer Anomalien mit Finiten Elementen unter Berücksichtigung induzierter und remanenter Magnetisierung
MA_257	Volkmar Schmidt et al.	Magnetic anisotropy of deformed carbonate rocks as an indicator of deformation processes
ME_147	Longqing QIU	HTS-SQUID Based Earth Magnetic Field NMR
<b>Marine Geophysik</b>		
MG_13	Annemarie Sticher et al.	ASTERICS (= Geophysikalische Studien nahe der Ascension Transformstörung: Evolution der Rückensegmentation und Krustenstruktur) - Erste Ergebnisse der ...
MG_15	Katrin Schwalenberg et al.	Marine Controlled Source Electromagnetic Experiments for Sediment Characterization
MG_54	Marcus Fabian & Heinrich Villinger	The Bremen Ocean Bottom Accelerometer -OBA-
MG_367	Frank Stroyzk et al.	Interpretation und Analyse seismischer Daten aus dem Bereich des Kontinentalhanges NO Kretas
MG_125	Gerlind Wagner et al.	Wide-angle seismic investigations of the structure of the Porcupine Basin, west of Ireland
MG_167	Norbert Kaul & Sebastian Krastel	Thermal expression of geodynamic processes on the Cretan Margin
MG_173	Kai Berglar et al.	Tektonische und sedimentäre Entwicklung des Simeulue Forearc-Beckens, Nordwestsumatra
MG_174	Thomas Temmler et al.	Kombinierter geophysikalisch - geochemischer Ansatz zur Quantifizierung von Gashydrat
MG_178	Christian Müller et al.	The Sunda-Banda Arc Transition - First results from recent marine geophysical investigations offshore eastern Indonesia (Part 1)
MG_312	A Shulgin et al.	The Sunda-Banda Arc Transition - First results from recent marine geophysical investigations offshore eastern Indonesia (Part 2)
MG_193	Michael Schnabel et al.	Auswirkungen des subduzierenden Investigator-Rückens vor der Küste Siberuts, Indonesien
MG_228	Ingo Heyde et al.	Marine Magnetik- und Schweremessungen an der Subduktionszone vor Sumatra

MG_296	Dieter Franke et al.	Contrasting structural styles of accretion along the Sumatra subduction zone
MG_305	Thomas Scheunert et al.	Dreidimensionale Simulationsrechnungen zur marinen Geoelektrik
MG_306	Michael Schauer et al.	Seafloor Morphology and Structures of the Sunda Trench off Sumatra
<b>Planetologie</b>		
PL_250	Dirk Elbeshausen & Kai Wünnemann	Numerische Modellierung von Meteoriteneinschlägen: Einfluss des Einschlagwinkels auf die Kraterentwicklung

<b>Seismik</b>		
SM_22	James Mechie	A 3-D, P-wave velocity, crustal structure model for Germany derived from seismic refraction / wide-angle reflection data
SM_36	Katja Essen et al.	Modellierung von gestreuten seismischen Wellen an kleinräumigen Strukturen
SM_80	Manfred Stiller et al.	Unterdrückung von (sub)harmonischen Sweep-Anteilen bei Vibroseis-Messungen
SM_90	Florian Bleibinhaus & ALP 2002 Working Group	A 3D anisotropic seismic velocity model of the Eastern Alps from reflection and refraction travelttime tomography
SM_98	Stefan Buske et al.	Aktive und passive seismische Abbildung des San-Andreas-Verwerfungssystems
SM_123	K. Groß et al.	Seismic Imaging of the Subduction Zone in Southern Central Chile (Project TIPTEQ)
SM_148	Robin Groschup et al.	Steep-dip Kirchhoff-Migration enthüllt Struktur der Periadriatischen Linie
SM_154	Denise De Nil & Thomas Bohlen	Towards beamforming of Rayleigh-to-body converted waves for seismic imaging ahead of tunnel construction
SM_187	Stefan Jetschny et al.	On the nature of tunnel surface waves in tunnel seismic exploration
SM_223	Jörg Appel et al.	3D – seismische Kartierung von bright spots in direkter Umgebung eines Salzstockes
SM_226	Stephan Feller et al.	Der Dachbereich des Salzdiapirs „Birgit“ im deutschen Nordseesektor: Eine 3D-seismische Untersuchung
SM_229	Sebastian Kalka et al.	Subglaziale Rinnen in der deutschen Nordsee – eine 3D seismische Untersuchung
SM_308	U. Polom et al.	Shallow high resolution reflection seismic survey within a factorial building using shear-waves
SM_326	Daniela Kink et al.	Detailuntersuchung der Krustenstruktur im Bereich Niedere Tauern (Steiermark, Österreich) mit ALP2002-Daten

## Postersession II

Mittwoch, 28.3., 15:15 bis 18:00, Kármán-Auditorium

Kürzel	Autor	Titel
<b>S3: High-Performance Computing in Geoscience</b>		
S3_224	Rocco Malservisi et al.	Lithospheric strain localization and reorientation due to changes in plate motion. How does the ductile regime adapt?
S3_195	Jens Oeser et al.	TETHYS -- A Tectonic High Performance Simulator for Geophysical Computations
S3_197	Christoph Moder et al.	Visualisation of large datasets with Paraview
S3_205	Guido Bloecher & Günter Zimmermann	Settle3D – A new generator for artificial porous media
S3_202	Mark Blome & Hansruedi Maurer	Advances in 3-D geoelectric forward solvers
S3_368	Xin Li et al.	Investigation of recent sediment transport pattern along the Transkei Basin offshore South Africa
S3_158	Seonghyung Jang & Sangyong Suh	Prestack depth migration on walk-away VSP using MPI_LAM
S3_289	Fabian Krzikalla & Tobias Müller	Parallel computation of pressure fields in poroelastic media
S3_220	Josep de la Puente et al.	The ADER-DG Method: High-Order Earthquake Simulation on Tetrahedral Meshes
<b>S4: Sedimentary Basin Dynamics</b>		
S4_350	Norbert Zisser et al.	A Database of petrophysical properties of rocks from the North German Basin (SPP1135).
S4_361	Norbert Hoffmann et al.	Magnetotelluric soundings in the North German basin-new data for Lower Carboniferous palaeogeography, basin development and hydrocarbon exploration
S4_33	Johannes Schoenherr et al.	Microstructural evolution and fluid transport mechanisms of the Late Neoproterozoic to Early Cambrian Ara Salt from interior Oman
S4_371	Ansgar Heimann et al.	Deformation structures and maturity of Infra-Cambrian carbonates from surface-piercing salt domes of interior Northern Oman: First results
S4_301	W. Rühaak et al.	Modeling the impact of deep fault zones on the thermal regime in a sedimentary basin
S4_184	S. Arndt et al.	Near surface faults originating below the Zechstein salts in the German North Sea
S4_261	Fabian Hese et al.	Crustal Structure of the southern North Sea area
<b>S5: Scientific Drilling</b>		
S5_264	Michael Becken et al.	A deep crustal fluid channel into the San Andreas Fault system imaged with magnetotellurics
S5_279	Iulia Ghergut et al.	Single-well tracer methods as a complement to geophysical methods; characterizing 4-km deep fracture system at pilot KTB hole
S5_343	Roland Oberhänsli & Bonnie Wolff-Boenisch	DRILLING DEEP INTO THE CONTINENT - The coordination office ICDP Germany provides support for the participation of German researchers in the International Continental ...
S5_356	Renate Pechinig & Ute Trautwein-Bruns	Log Interpretation in the RWTH-1 Borehole
S5_363	Lydia Dijkshoorn & Renate Pechinig	Physical properties in the Carboniferous and Devonian Rocks drilled in the RWTH-1 borehole
S5_362	Ute Trautwein-Bruns et al.	Aachen's Geothermal Well "RWTH-1" – The geoscientific research program
S5_28	Hermann Bunes et al.	Downhole logging experiments and rock magnetic studies within the Heidelberg Drilling Project – first results

<b>Archäogeophysik</b>		
AG_30	Stephan Schreiber et al.	A Quantitative Archaeoseismological Study of the Great Theatre of Larissa (Thessaly, Greece)
AG_58	Christoph Grützner et al.	GPR in Archeoseismology - an example from the roman ruins of Baelo Claudia, Spain
AG_345	Gundelach, V. et al.	Erkundung von oberflächennahen Strukturen und des Grundwasserhorizontes mit Georadar in der Letzlinger Heide
<b>Elektromagnetik</b>		
EM_61	Mike Mueller-Petke & Ugur Yaramanci	A noise dependend analysis of the inverse problem to derive optimized datasets and field configurations applied to Magnetic Resonance Sounding/Tomography.
EM_236	Lars Haupt et al.	Elektrische Leitfähigkeitsanomalien an der Trans-Europäischen Suturezone und im Norddeutschen Becken
EM_168	Thilo Schmalz & Bülent Tezkan	Vier-Kanal-Radiomagnetotellurik (RMT)-Messungen in Dänemark
EM_170	Christoph Schwarzbach	Numerische Aspekte der FEM-Lösung der elektromagnetischen Wellengleichung mit absorbierenden Randschichten (Perfectly Matched Layers)
EM_183	Sascha Frömmel	Lateral Constraint Inversion (LCI) und Inversion mit Entwicklung nach Basisfunktionen anhand von Transientenelektromagnetischen (TEM) Daten
EM_189	Bernhard Siemon et al.	1D-Inversion von HEM-Daten mit seitlichen Randbedingungen
EM_206	Bernhard Siemon	Niveaueinpassung von HEM-Daten
EM_286	Martin Afanasjew et al.	Comparison of Krylov Subspace Methods and Time-Stepping for TEM Simulation
EM_333	Andre Jung et al.	Along strike variations of the Beattie Magnetic Anomaly (South Africa) mapped with magnetotellurics
EM_119	Roland Martin et al.	3D TEM Inversion
<b>Geoelektrik</b>		
GE_51	Claudia Schütze et al.	Strukturerkundung und Monitoring von Problemzonen im Salinar mittels DC-Geoelektrik
GE_233	Heiko Wiebe et al.	Joint-Inversion von Geoelektrik und Radiomagnetotellurik
GE_86	Helmut Rodemann	Buchstabenrechnung (Symbolic Algebra), gekauft ("Maple") und selbst programmiert. Anwendung auf ein Problem aus der Geophysik.
GE_97	Melanie Bock et al.	Untersuchung von Konvektionen im Laborversuch mit Hilfe der geoelektrischen 3D-Tomographie
GE_198	Marcus Möller & Andreas Weller	Vergleichende geoelektrische Untersuchungen an Hochwasserschutzdeichen
GE_245	Anthony Druiventak et al.	kf-Bestimmung mit SIP bei hohen Wasserleitfähigkeiten und für die Kornfraktion der Kiesen
GE_321	Thomas Günther & Carsten Rücker	A general approach for introducing structural information – from constraints to joint inversion
GE_324	Thomas Agricola et al.	Großräumige Gleichstromgeoelektrische Messungen in einem Flachsee
GE_332	Hendrik Birnstiel	Geoelektrische Untersuchungen an Deichen
<b>Georadar</b>		
RD_105	Jens Meßinger	Artefaktarme Georadar-Tomographie
RD_111	Andreas Fettig	Qualitative und Quantitative Bewertung minimalphasiger Äquivalente



Seismologie		
SO_23	Nina Köhler et al.	PreSEIS – eine Methodik zur Erdbebenfrühwarnung im Rahmen des SAFER-Projekts
SO_25	Jürgen Mackedanz & Klaus-G. Hinzen	Ein probabilistisches seismisches Gefährdungsmodell für die Niederrheinische Bucht und Umgebung
SO_34	Klaus-G. Hinzen et al.	Ein neues strong motion Netz in der Niederrheinischen Bucht, SeFoNiB
SO_37	Ludger Küperkoch et al.	Automatische Ereignisidentifikation mit Hilfe Statistiken höherer Ordnung
SO_47	Jörn Groos & Joachim Ritter	Parametrisierung im Zeitbereich des breitbandigen seismischen Rauschens im Großraum Bukarest
SO_52	Elena Aldushina et al.	Entwicklung eines petrologischen Modells der Hellenischen Subduktionszone und Berechnung der seismischen Geschwindigkeiten
SO_55	Marco Walter & Manfred Joswig	Geophysikalische Untersuchungen von Großhangbewegungen: Beispiel Heumöser Hang, Vorarlberg
SO_68	Lisa Rehor & Thomas Forbriger	Bestimmung einer Gebäudeantwort aus seismischen Breitbandregistrierungen
SO_70	Thomas Plenefisch & Marcus Walther	Tracking SKS shear-wave splitting across Central and Eastern Europe by using permanent networks and one single event
SO_72	Thomas Plenefisch & Klaus Klinge	Spatiotemporal changes of the stress field in the Sunda Arc subduction zone after the 26 December 2004 Northern Sumatra earthquake inferred from inversions of ...
SO_88	Thomas Forbriger	Low-frequency limit for H/V studies due to tilt
SO_89	Frank Krüger et al.	PASSEQ 2006-2008 Passive Seismic Experiment in TESZ
SO_110	Klaus Klinge et al.	Fortschritte bei der Auswertung von Erdbeben in Deutschland seit Einführung des GRSN vor 15 Jahren
SO_115	Michael Wagner & Joachim Ritter	Herdmechanismen der Erdbeben vom 10.2. und 26.3.2005 im Oberrheingraben
SO_121	D. Lange et al.	Seismicity, focal mechanisms, and the state of stress of the Chilean subduction Zone at 42°S
SO_130	Ingo Wölbern et al.	Rift-related uplift of the Rwenzori mountains in Uganda investigated by seismological methods
SO_370	Dirk Rößler et al.	Bruchausbreitung des TsE (Mw7,7) am 17. Juli 2006 vor Java
SO_149	Klaus Weber & Klaus-G. Hinzen	Die geologische Struktur des Neuwieder Beckens und ihr Einfluss auf seismische Standorteffekte
SO_175	Andreas Schmidt et al.	Das OBS-Netzwerk des EGELADOS-Projektes
SO_181	Martin Häge & Manfred Joswig	Zeitliche und räumliche Ähnlichkeitsuntersuchungen von Nachbeben des Waldkirchbebens
SO_188	Dieter Kurrle & Rudolf Widmer-Schnidrig	Anregung langperiodischer Rayleighwellen an kontinentalen Küstengebieten
SO_192	Ventouzi, Ch. et al.	Untersuchungen des Kythira-Erdbebens (SW Ägäis) am 8. Januar 2006 mit Hilfe des EGELADOS-Netzes
SO_216	Marcus Walther & Thomas Plenefisch	Vollautomatische Analyse von SKS-Scherwellen-Splitting für regionale seismologische Netzwerke
SO_225	Aysun Nilay Dinc Akdogan et al.	Seismicity of Southern Nicaragua and Northern Costa Rica: A Combined Offshore and Onshore Study
SO_227	Martin Thorwart et al.	Receiver function and non-volcanic tremor studies in Costa Rica
SO_239	Christian Weidle et al.	MAantle investiGations of Norwegian Uplift Structure (MAGNUS) - a flying start into Topo Europe
SO_246	Aysun Nilay Dinc Akdogan et al.	Subduction zone structure and related processes beneath central Costa Rica
SO_259	Andrea Brüstle et al.	Untersuchung analoger Wellenformen am Beispiel des 1956 Erdbebens (Ms=7.4) in der südlichen Ägäis
SO_262	Robert Barsch et al.	Archiving, processing and simulation of multi-component data in seismology using Web Services
SO_280	Sebastian Heimann et al.	Kinematic source parameters for strong earthquakes: A new modular and efficient inversion code, based on a Greens function database for the whole earth

SO_288	Tian Xia et al.	Analytische Abschätzungen der Streudämpfung in zufallsverteilten Medien
SO_290	A. Jakovlev et al.	Anisotropic local travel-time tomography with examples from the Baikal and Rwenzori regions
SO_309	C. Legendre et al.	Preliminary 3D S-wave velocity model of the European upper mantle from inversion of Surface and S waveforms
SO_319	Monika Bischoff et al.	HAMNET - ein lokales seismologisches Netz zur Untersuchung bergbauinduzierter Seismizität in Hamm
SO_322	Rudolf Widmer-Schnidrig & Dieter Kurrle	Das Gräfenberg Array - Langperiodische Datenqualität nach der Seismometer Umrüstung
SO_331	Christoph Sens-Schönfelder et al.	Ausbreitung und Dämpfung von Lg-Wellen in kontinentaler Kruste
<b>Umwelt- und Ingenieurgeophysik</b>		
UI_165	Hui Fricke	Neue Instrumentierung zur mikroseismischen Überwachung auf der Schachanlage Asse II
UI_252	Ulrike Werban et al.	Geophysikalische Untersuchungen auf dem Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt
UI_273	Dennis Wilken et al.	Numerische Studie zur seismischen Analyse von Kompaktierungszonen am FINO3 Monopile
UI_351	Martin Geilhausen et al.	Anwendung multipler geophysikalischer Methoden zur Rekonstruktion der Flussgeschichte der Sieg
UI_355	Ernst Niederleithinger et al.	Schwachstellenanalyse an Flussdeichen
<b>Vulkanologie</b>		
VU_102	Martin Hensch et al.	Volcanic Hazard Risk assessment of Columbo Seamount (Aegean Sea, Greece)
VU_240	Sissy Kütter et al.	3-D simulation of magnetotelluric fields at Stromboli

## Werbung

Ingenieurgesellschaft für  
Geophysikalische Messtechnik mbH



# 2007 neu!

**Interferometrisches Radarsystem von IDS**

**Von Nanometrics:  
Die komplette Seismologische Breitbandstation  
in nur einer Transportbox**

**Beratung | Messtechnik | Verkauf  
Gerätevermietung | Reparaturdienst |  
Projektstudien und Geräteentwicklung**

Untere St. Leonhard-Str. 16  
88662 Überlingen | Germany

Telefon +49 (0) 75 51-40 77  
Fax +49 (0) 75 51-16 23  
info@igm-geophysik.de





# Geophysik



## A Leading German Geophysical Contractor

www.geophysik-ggd.com • www.geophysik-leipzig.de  
e-mail: info@geophysik-ggd.com

**2D/3D seismic interpretation with GeoFrame and SeisWorks**

**2D/3D field processing and QC with ProMAX**

**2D/3D seismic processing with ProMAX**

**Exploration of oil, gas and minerals**

**Geotechnics and hydrogeology**

**2D/3D seismic data acquisition**

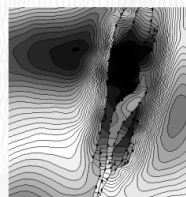
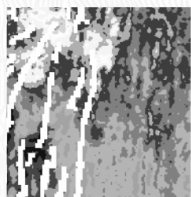
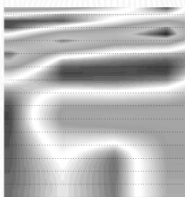
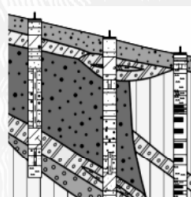
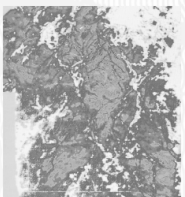
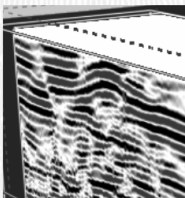
**Goelectrics and radiometrics**

**Engineering geophysics**

**VSP and log processing**

**Gravity and magnetics**

**Geothermal projects**



certificate by



**More than 55 years geophysical services**

## Verkauf, Vermietung und Service geophysikalischer Messinstrumente (Geräte- sowie Softwaretraining)

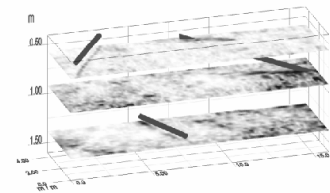
**Magnetik - Geometrics**  
G-858 (Cäsium)



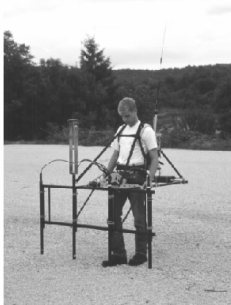
**Georadar - GSSI**  
UtilityScan



**Software - GSSI**  
RADAN6



**Magnetik - Förster**  
Ferex (Fluxgate)



**Gravimetrie - Scintrex**  
CG-5 Autograv



**Geoelektrik - Campus**  
Ohmega



**EM (FD; TD) - Geonics**  
EM61-MK2



**Seismik - Geometrics**  
GEODE

*ALLIED ASSOCIATES GEOPHYSICAL LTD.*

Büro Deutschland  
Halterner Straße 125  
46284 Dorsten

Tel.: +49-(0)2362-790652

Fax: +49-(0)2362-790653

Mobil: +49-(0)170-9317439

[susanne@allied-germany.de](mailto:susanne@allied-germany.de)

[www.allied-associates.co.uk](http://www.allied-associates.co.uk)



# Don't gamble!

hammer.runge

For more than 100 years DMT have been developing innovative geo-instruments for safe and accurate exploration.



**DMT BOREHOLE SHUTTLE**  
Geophysical tools for deviated and horizontal boreholes.

[www.shuttle-system.de](http://www.shuttle-system.de)



**DMT SUMMIT II<sup>PLUS</sup>**  
Extremely flexible 24 bit seismic acquisition system.

[www.summit-system.de](http://www.summit-system.de)



**DMT CoreScan<sup>®</sup> II**  
Portable core scanner with online core imaging, global accessibility and digital drill core library.

[www.corescan.de](http://www.corescan.de)



**DMT RESECS**  
DC - resistivity electrode control system.

[www.resecs.de](http://www.resecs.de)

**DMT - right on target!**



DMT GmbH

Exploration & Geosurvey

Am Technologiepark 1  
45307 Essen, Germany

Phone +49 2 01 172-19 70

Fax +49 2 01 172-19 71

E-mail [exploration@dm.de](mailto:exploration@dm.de)

Internet [www.dmt.de](http://www.dmt.de)

DIN EN ISO  
9001  
certified



Als einer der führenden Service-Konzerne mit weltweit 36.000 Mitarbeitern bieten wir unseren Kunden aus der Erdöl- und Erdgasindustrie umfassende Lösungen bei der Erkundung und Erschließung von Lagerstätten. In Celle entwickeln und produzieren rund 1.200 Mitarbeiter Bohr- und Messsysteme, die höchsten technischen Anforderungen gerecht werden. Innovative Ideen gehören zu unserem Tagesgeschäft. Dafür brauchen wir hochqualifizierte, kreative Mitarbeiter, die Neues denken und technologische Grenzen immer wieder in Frage stellen. Menschen, die sich stets aufs Neue fordern und die wir entsprechend fördern.

*Wir suchen regelmäßig Absolventen/Studierende (m/w) der folgenden Fachrichtung*

**Elektrotechnik**

**Geologie**

**Nachrichtentechnik**

**Geophysik**

**Mess- und Regelungstechnik**

**Softwareentwicklung**

**Maschinenbau**

**Starten Sie Ihre berufliche Zukunft bei uns!** Schon während des Studiums können Sie bei Baker Hughes als Praktikant/in einsteigen. Wenn Sie eine interessante, innovative Studien- oder Diplomarbeit erstellen möchten, sind Sie herzlich willkommen.

**Oder haben Sie Ihr Studium bereits abgeschlossen und suchen eine echte Herausforderung?** Bei Baker Hughes finden Sie eine Menge Raum dafür – Motivation und Engagement bringen Sie mit. Es erwarten Sie spannende Aufgaben auf technisch sehr hohem Niveau und eine enge Zusammenarbeit in einem kreativen und internationalen Umfeld. So fördern Sie mit uns gemeinsam Zukunft.

*Möchten Sie in einem technologisch führenden Unternehmen mit hervorragenden Entwicklungsperspektiven mitarbeiten? Dann freuen wir uns auf Ihre **Online-Bewerbung** unter [www.bakerhughes.de/jobs](http://www.bakerhughes.de/jobs)*

**Baker Hughes INTEQ GmbH**  
Baker-Hughes-Str. 1, D-29221 Celle

[www.bakerhughes.de](http://www.bakerhughes.de)

**BAKER  
HUGHES**

## FOERSTER - Ihr Partner für geomagnetische Untersuchungen

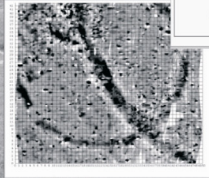
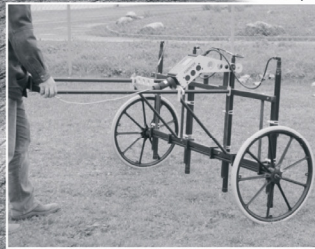


### **Sondenspezifikation**

Bauart Spannband Sonde  
Messunsicherheit <2 % bez.  $\pm 10.000$  nT  
Auflösung <0,1nT  
Stabilität <1nT  
Temperaturgang <1nT/ K  
Abtastrate max. 100 Hz  
Messbereich  $\pm 10.000$  nT  
Linearität <1nT bez. Auf  
Max.Messbereich  
Sensorik abgleichfrei,  
auf Lebenszeit kalibriert

### **Spezifikation Datalogger**

Speicher 16 MB  
pro Wert 3 Byte  
max. Kanäle 4  
Datei Export Formate  
.csv, xyz, .txt, .fdl, .bmp



## FOERSTER

Institut Dr. Foerster  
GmbH & Co. KG  
In Laisen 70  
72766 REUTLINGEN  
GERMANY  
Tel. +49 7121 140312  
Fax +49 7121 140280  
e-mail: s-all@foerstergroup.de  
Http://www.foerstergroup.de

# Gravity Consult GmbH

Ingenieurbüro für Geodynamik, Jena

Gravimeter – Seismometer - Service



ZLS Corporation



Komplette Mess-Systeme und Beratungsleistungen:  
Standortuntersuchungen und Begutachtungen  
Anfragen: [info@gravity-consult.de](mailto:info@gravity-consult.de)

Gravity Consult GmbH Landgrafentstieg 3c 07743 Jena





## Geothermalreservoirmarkierungen

Georg-August-Universität Göttingen, Geowissenschaftliches Zentrum (GZG)  
Angewandte Geologie (Prof. Dr. Martin Sauter), Goldschmidtstr. 3, 37077 Göttingen  
Tel.: 0551 397910, Fax: 0551 399379, martin.sauter@geo.uni-goettingen.de



**Fluidmarkierung in Geothermalfeldern:** einzige Methode zur Identifizierung und Charakterisierung von Fließverbindungen, Ermittlung von Verweilzeiten zirkulierender Fluide und Quantifizierung von wärmetauschrelevanten Kontaktflächen zwischen Fluid und Gesteinsmatrix. Mit hydraulischen und geophysikalischen Untersuchungsmethoden sind die für die Charakterisierung von Erdwärmefeldern relevanten Größen nicht oder nur beschränkt ermittelbar. **Tracerkandidaten:** markierte Wassermoleküle (tritiertes Wasser), anorganische Ionen mit gesichert niedrigen Untergrundwerten im untersuchten System, organische Verbindungen (vorzugsweise fluoreszierende), gelöste Inertgase, ggf. in Kombination mit Umweltisotopen, Fluidparametern, Temperatur (in situ). **Eignung für:** HDR-Systeme und Sedimentärreservoir; zur Bestandsaufnahme und zur Bestimmung zeitlicher Änderungen der geometrischen und hydraulischen Eigenschaften in einem Geothermalreservoir, zum Beispiel nach Stimulation. **Einbohrlochverfahren:** Push-Pull-Methode zur Ermittlung spezifischer Kontaktflächen Fluid-Gesteinsmatrix; Vertikalzirkulationsverfahren zur Charakterisierung der Fließverbindung zwischen verschiedenen Horizonten. **Expertise:** Dimensionierung, Durchführung und Auswertung von Tracertests. **Erfahrungen:** Urach (2003), Kontinentale Tiefbohrung Oberpfalz (2004–2006), Horstberg (GenESys-Pilotprojekt der GGA / BGR Hannover, 2004–2006), GroßSchönebeck (Forschungsprojekt des GFZ Potsdam, ab 2006, in Vorbereitung), Landau (mit BESTEC, ab 2007, in Vorbereitung). **Begleitende Laboruntersuchungen:** Ermittlung von Tracereigenschaften (Diffusion, Sorption, physikochemische Stabilität unter repräsentativen Reservoirbedingungen). **Partner:** GGA / BGR Hannover, GFZ Potsdam, EGI Utah, BESTEC, ZAG Tübingen, ETH Zürich  
[www.uni-goettingen.de/de/kat/8483.html](http://www.uni-goettingen.de/de/kat/8483.html), [www.uni-goettingen.de/de/sh/20948.html](http://www.uni-goettingen.de/de/sh/20948.html)

## Raum für Notizen

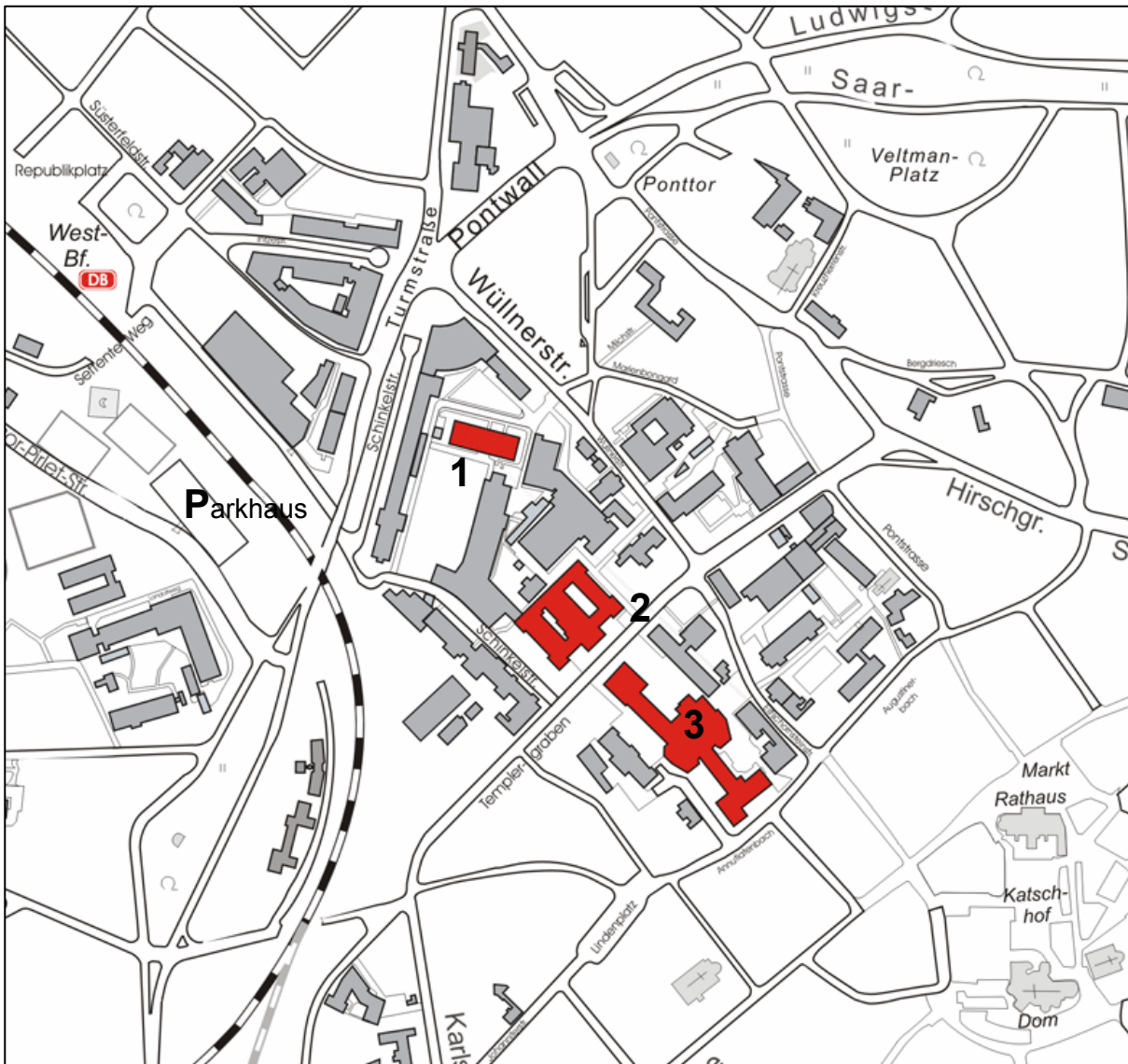
## Lage- und Gebäudepläne

### Tagungsort

Die Tagung findet in den Räumen der RWTH Aachen statt.

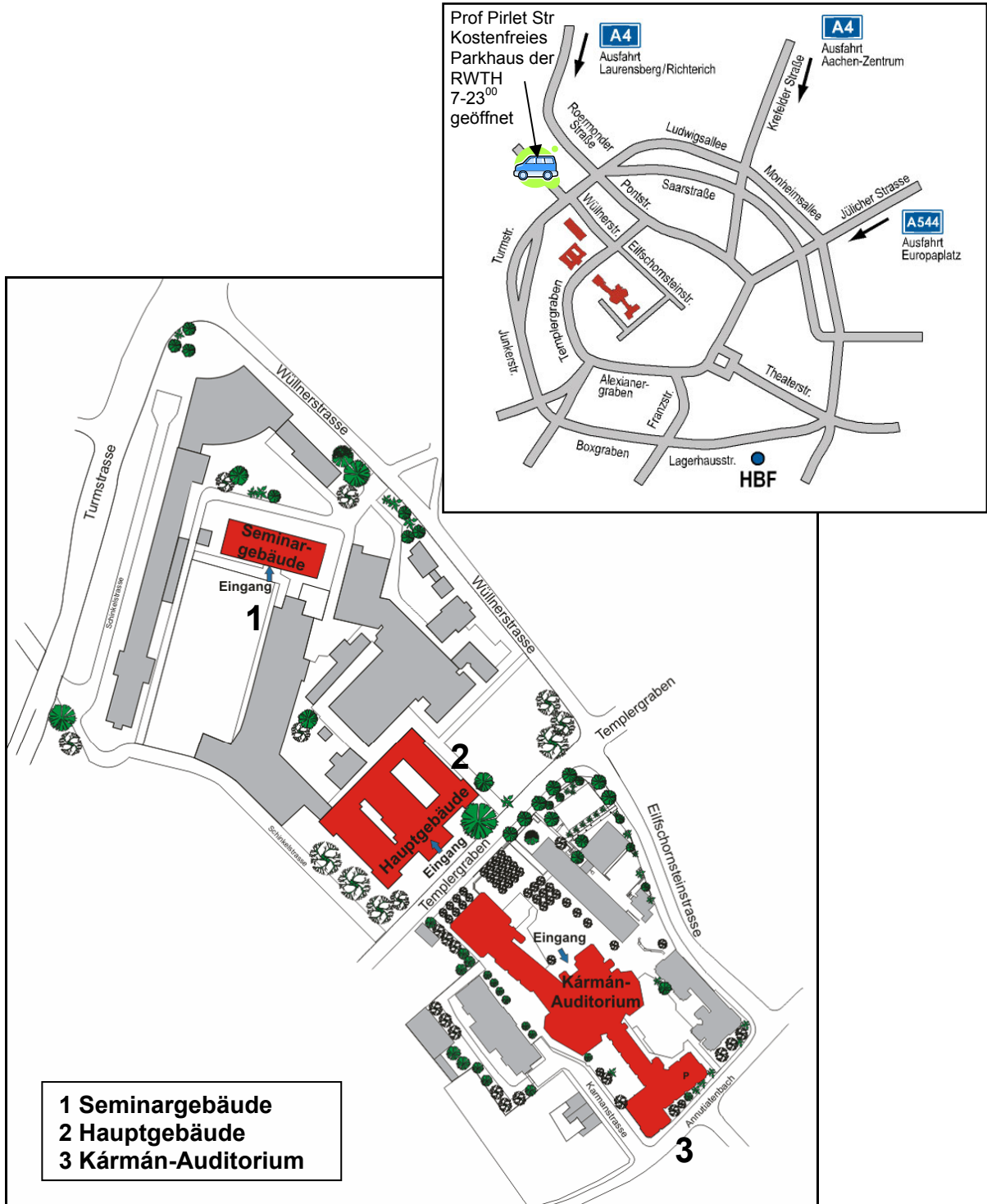
- Die Eröffnungsveranstaltung findet Im Kármán-Auditorium Raum Fo 1 statt, die Plenarvorträge, die DGG Mitgliederversammlung sowie der öffentliche Abendvortrag finden im Kármán-Auditorium Raum Fo 5 statt.
- Das Jobcenter befindet sich im großen Senatssitzungssaal im Hauptgebäude.
- Die Hörsäle für Vorträge, Fachgespräche, der Posterbereich und die Firmenausstellungen befinden sich im Kármán-Auditorium.
- Seminarräume für die Diskussionen und Treffen der Arbeitsgemeinschaften befinden sich im nahegelegenen Seminargebäude der RWTH.

### Campus der RWTH Aachen



Die farbig markierten Bereiche kennzeichnen die Gebäude der RWTH Aachen, in denen die Tagung stattfindet: 1 - Seminargebäude, 2 - Hauptgebäude. 3 - Kármán-Auditorium. Weiterhin ist das kostenfreie Parkhaus (P) der RWTH Aachen gekennzeichnet.

**Detailplan des Tagungsortes (unten) und  
seine Lage im Stadtzentrum von Aachen (oben rechts)**



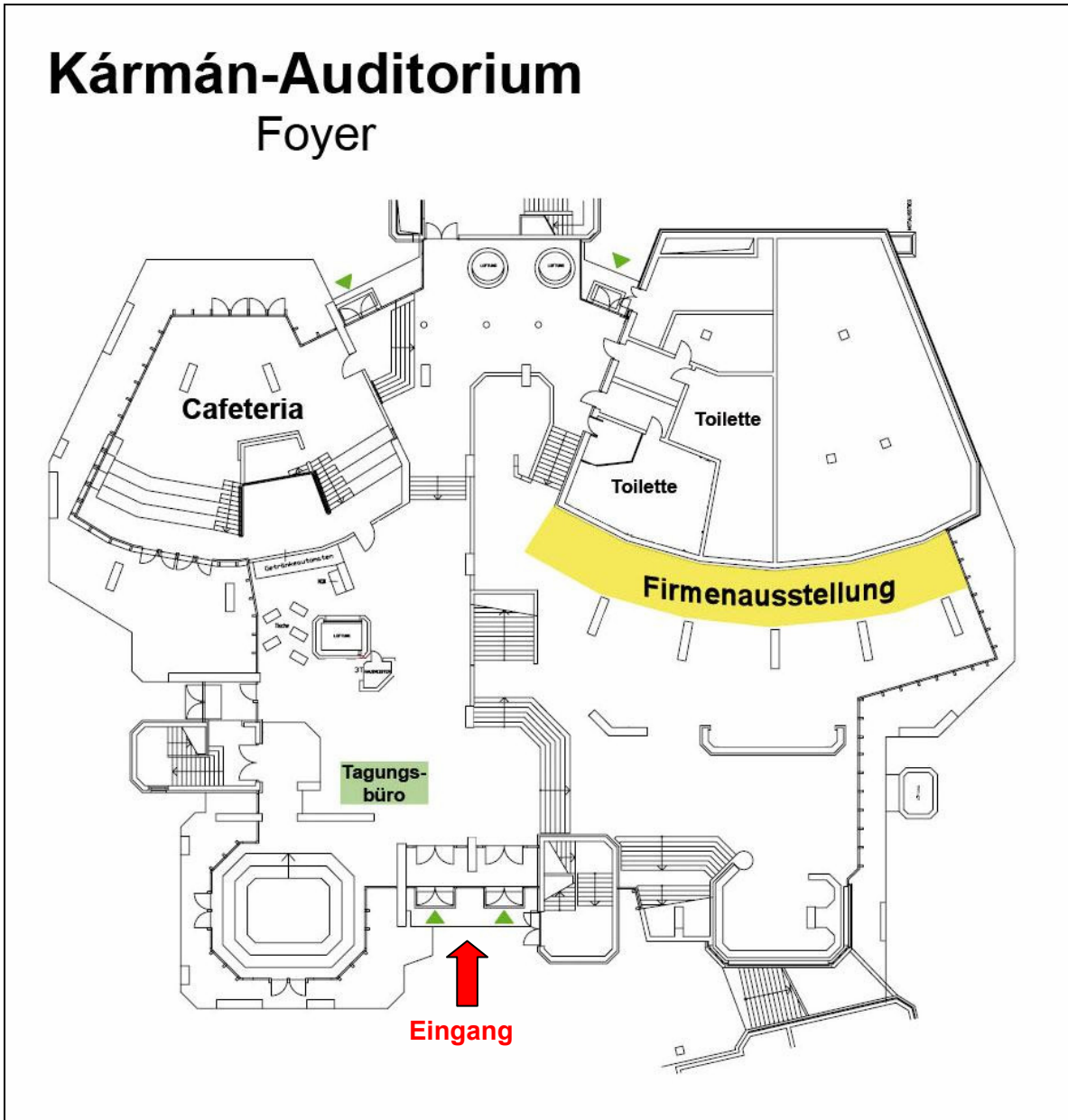
In der Prof. Pirlet Straße befindet sich ein kostenfreies Parkhaus der RWTH Aachen (siehe Plan oben rechts). Es hat täglich von 7 bis 23 Uhr geöffnet.

## Kármán-Auditorium

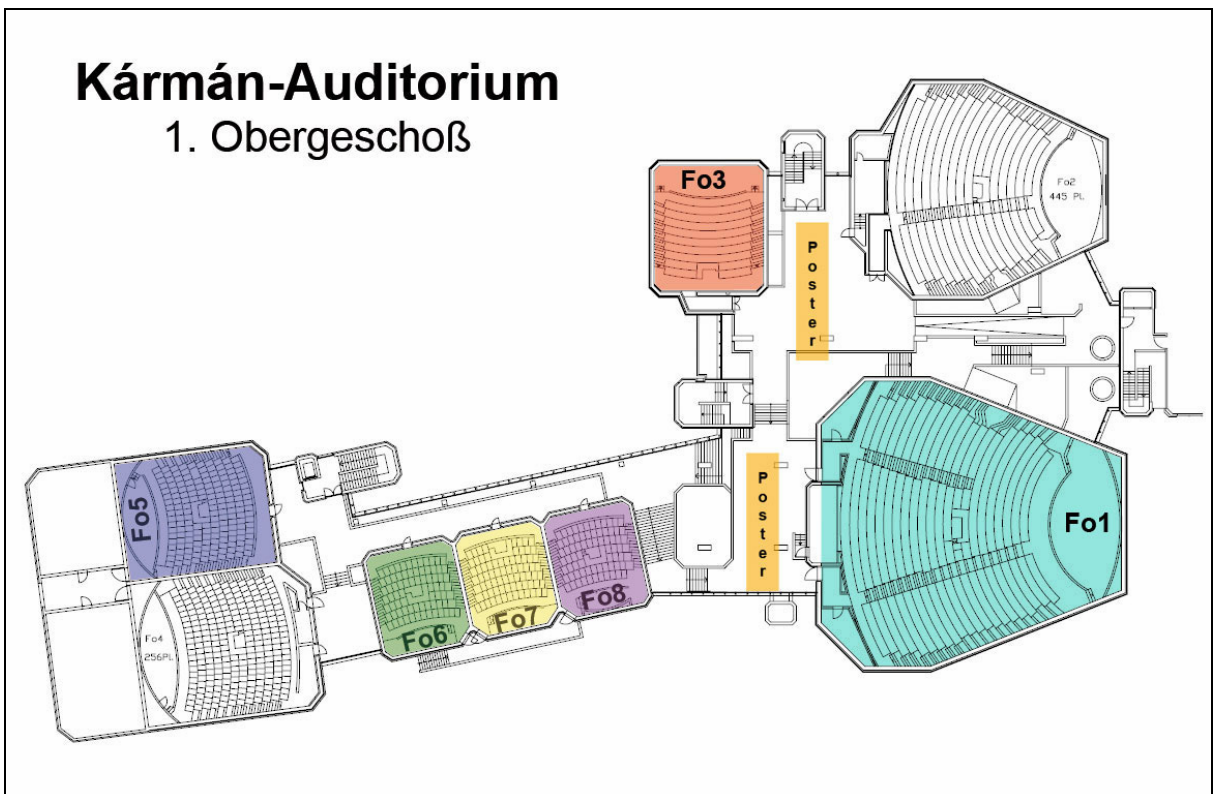
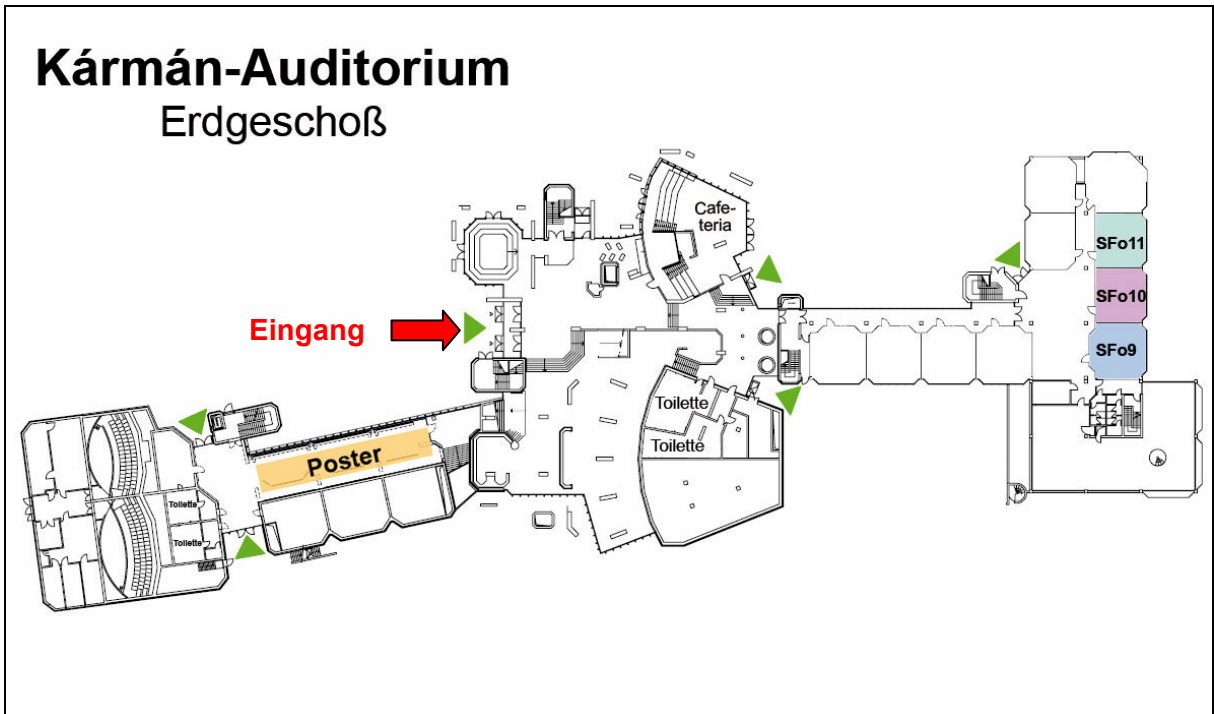
Das nach Theodor von Kármán benannte Auditorium der RWTH Aachen befindet sich im Zentralbereich der Hochschule (Eilfschornsteinstr. 15, 52062 Aachen).

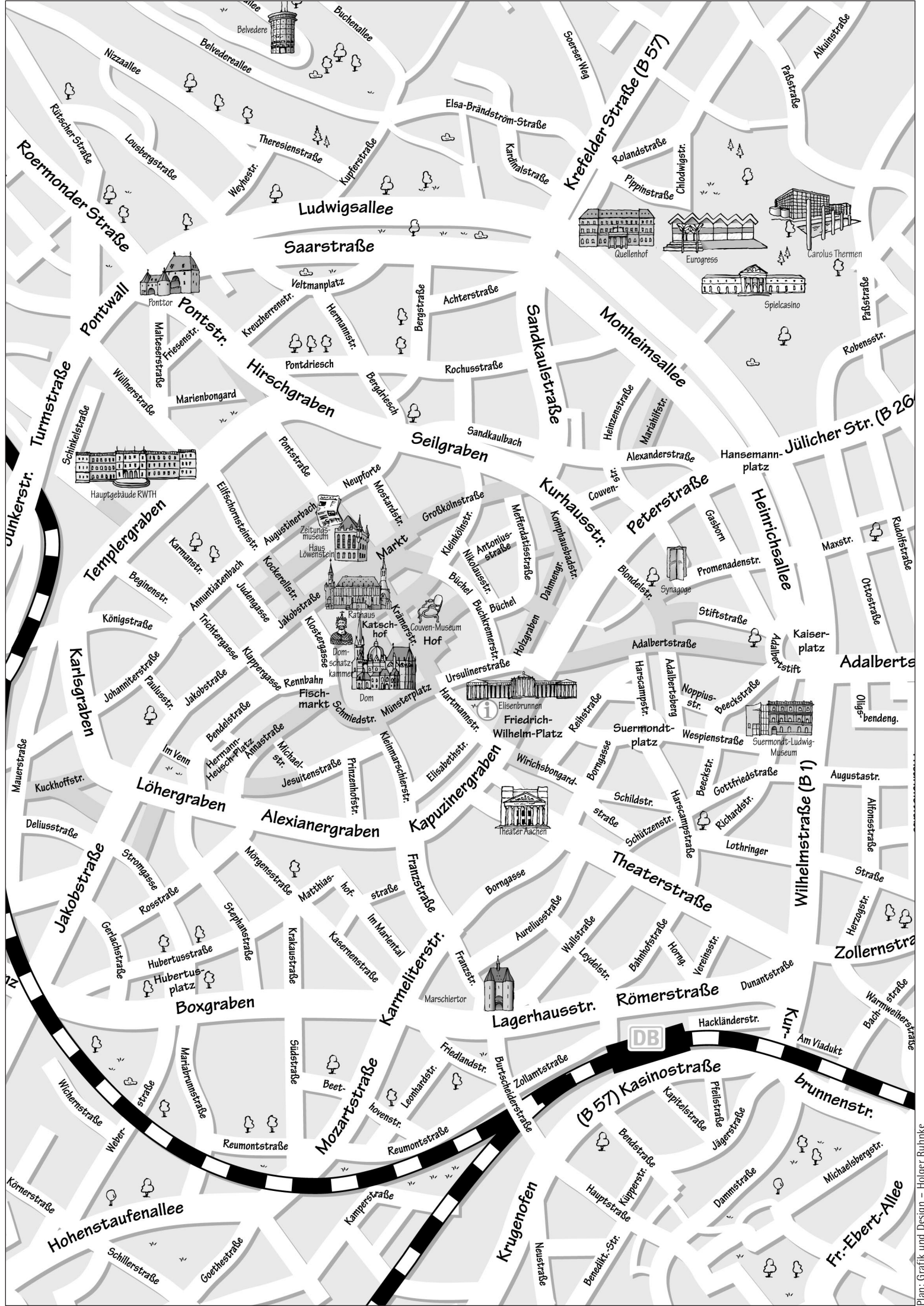
Vom 26. bis 30. März wird es das Zentrum der Tagung sein. Im Eingangsbereich des Forums befinden sich das Tagungsbüro, die Cafeteria, öffentliche Fernsprecher, ein EC-Automat und Toiletten.

Im Foyer befinden sich die Firmenausstellung und das Tagungsbüro.



Die Vortragssessions sowie das DGG-Kolloquium finden im Kármán-Auditorium in den Hörsälen Fo3, Fo5, Fo6 und Fo7 statt, die Eröffungsveranstaltung im Fo 1.





## Gastronomie in der Nähe des Tagungsortes

- Im Kármán-Auditorium befindet sich eine Cafeteria.
- Im Hauptgebäude befindet sich die Personalmensa der RWTH.
- Weitere Mensen befinden sich in der Turmstr., Ecke Pontwall (siehe Campusplan).

Die aufgelisteten Restaurants sind vom Tagungsgebäude zu Fuß in 5 min zu erreichen.

- Templergraben
  - 46: Cafe Orient, Restaurant/Bistro - türkische Küche
  - 42: Limpurger Hof - italienische und griechische Küche
  - 28: Knossos - griechische Küche
  - 25: Pizzeria Da Franco
  - 20: Cafe Keko - einfaches Restaurant/Bistro
  - 8: Feuerdrache - einfache asiatische Küche
- Templergraben / Ecke Pontstraße
  - Magellan - gemischte Küche (u.a. türkisch)
- Pontstraße
  - 72: Chico Mendes - Salat, Pasta, Suppen, Pizza, Baguette ...
  - 70: Komak - türkische Küche
  - 50: Stadtkrone - Restaurant, Steaks
  - 39: Cafe Kittel - Studentencafe mit Essen
  - 1-3: Cafe Egmont - Frühstückscafe

In der oberen Pontstr. gibt es weitere, auf Studenten ausgerichtete Bistros, ...
- Pontstr. / Ecke Augustinerbach:
  - Maranello - Pizzeria
- Neupforte
  - 2b: Good Friends - indonesisch-chinesische Küche
  - 4: Antalya Grill - Döner Imbiss
- Marktplatz
  - Cafe Extrablatt - amerikanisch-italienisch
  - Mc Donalds
  - Pizza Hut
  - Italienisches Eiscafe
  - Brauerei Goldener Schwan - gutbürgerlich
  - Goldenes Einhorn - gutbürgerlich und mediterran
  - Cafe Lambertz
  - Starbucks
- Markt / Klostersgasse:
  - Pasta – frische selbstgemachte Pasta, sehr gut
- Jakobstraße
  - 22: Bella Italia - Ristorante
  - 26: Zum Wehrhaften Schmied - u.a. Muschelgerichte
  - 94: Kleineidam - u.a. Fischgerichte
- Judengasse/ Ecke Annuntiatenbach
  - Hong Kong – chinesisch (direkt unterhalb vom Kármán)
- Annuntiatenbach 22:
  - Tigris Grill - Stehimbiss, Fallafel, Gyros
- Annuntiatenbach/Ecke Cockerellstr.:
  - Finca Bio Bistro
- Cockerellstraße
  - 20: Cafe Anvers - gemischte Küche
  - 22: Paella - spanische Küche



## Busfahrplan der Linie 13

---

Linie 13 B fährt vom Hauptbahnhof zur Technischen Hochschule (zum Tagungsgebäude: Haltestelle „Technische Hochschule“). Sie fährt vom Bahnhof aus gesehen an der gegenüberliegenden Straßenseite ab.

# 13 A

## (Ringlinie) Ponttor – Technische Hochschule – Schanz – Aachen Hbf. – Kaiserplatz – Ponttor

↳ Der Einsatz von Niederflerbussen ist vorgesehen.

### montags bis freitags

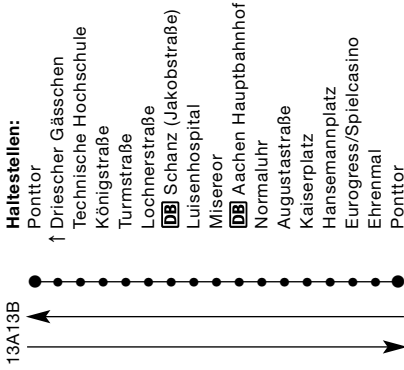
	W	W	W	W	W	W	W	W	W			
Ponttor (Malteserstr.)	6.31	6.46	7.01	7.16	7.31	7.46	8.01	8.16	8.31	18.16	18.31	18.46
Technische Hochschule	32	47	02	17	32	47	02	17	32	17	32	47
Turmstraße	35	50	05	20	35	50	05	20	35	20	35	50
Lochnerstraße	37	52	07	22	37	52	07	22	37	22	37	52
DB Schanz (Jakobstraße)	39	54	09	24	39	54	09	24	39	alle	24	39
Misereor	42	57	12	27	42	57	12	27	42	15	27	42
DB Aachen Hauptbf. H.1	44	59	14	29	44	59	14	29	44	Min.	29	44
Normaluhr (Wilhelmstr.)	46	7.01	16	31	46	8.01	16	31	46	31	46	19.01
Aachen Kaiserplatz	50	05	20	35	50	05	20	35	50	35	50	05
Hansemannplatz	51	06	21	36	51	06	21	36	51	36	51	06
Eurogress/Spielcasino	52	07	22	37	52	07	22	37	52	37	52	07
Ponttor (Malteserstr.)	6.55	7.10	7.25	7.40	7.55	8.10	8.25	8.40	8.55	18.40	18.55	19.10

### samstags

	W	W	W	W	W	W	W	W	W			
Ponttor (Malteserstr.)	9.01	9.16	9.31	9.46	10.01	10.16	10.31	10.46	11.01	15.16	15.31	15.46
Technische Hochschule	02	17	32	47	02	17	32	47	02	17	32	47
Turmstraße	05	20	35	50	05	20	35	50	05	20	35	50
Lochnerstraße	07	22	37	52	07	22	37	52	07	22	37	52
DB Schanz (Jakobstraße)	09	24	39	54	09	24	39	54	09	alle	24	39
Misereor	12	27	42	57	12	27	42	57	12	15	27	42
DB Aachen Hauptbf. H.1	14	29	44	59	14	29	44	59	14	Min.	29	44
Normaluhr (Wilhelmstr.)	16	31	46	10.01	16	31	46	11.01	16	31	46	16.01
Aachen Kaiserplatz	20	35	50	05	20	35	50	05	20	35	50	05
Hansemannplatz	21	36	51	06	21	36	51	06	21	36	51	06
Eurogress/Spielcasino	22	37	52	07	22	37	52	07	22	37	52	07
Ponttor (Malteserstr.)	9.25	9.40	9.55	10.10	10.25	10.40	10.55	11.10	11.25	15.40	15.55	16.10

w = ab Ponttor nach kurzem Aufenthalt weiter in Richtung Technische Hochschule – Schanz

13A13B



Haltestellen:

Ponttor  
 ↑ Driescher Gässchen  
 Technische Hochschule  
 Königstraße  
 Turmstraße  
 Lochnerstraße  
 DB Schanz (Jakobstraße)  
 Luisenhospital  
 Misereor  
 DB Aachen Hauptbahnhof  
 Normaluhr  
 Augustastraße  
 Kaiserplatz  
 Hansemannplatz  
 Eurogress/Spielcasino  
 Ehrenmal  
 Ponttor

Die Linie 13A fährt als Ringlinie gegen den Uhrzeigersinn, die Linie 13B fährt im Uhrzeigersinn.

↳ Der Einsatz von Niederflurbussen ist vorgesehen.

## montags bis freitags

	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W				
Ponttor (Pontstr.)	6.31	6.46	7.01	7.16	7.31	7.46	8.01	8.16	8.31	8.46	9.01	9.16	9.31	9.46	10.01	10.16	10.31	10.46	11.01	11.16	18.16	18.31	18.46	
Eurogress/Spielcasino	35	50	05	20	35	50	05	20	35	50	05	20	35	50	05	20	35	50	05	20	20	35	50	
Hansemannplatz	37	52	07	22	37	52	07	22	37	52	07	22	37	52	07	22	37	52	07	22	22	37	52	
Aachen Kaiserplatz	38	53	08	23	38	53	08	23	38	53	08	23	38	53	08	23	38	53	08	23	23	38	53	
Normaluhr (Dunanstr.)	41	56	11	26	41	56	11	26	41	56	11	26	41	56	11	26	41	56	11	26	alle	26	41	56
☒ Aachen Hauptbf. H.2	42	57	12	27	42	57	12	27	42	57	12	27	42	57	12	27	42	57	12	27	15	27	42	57
Misereor	44	59	14	29	44	59	14	29	44	59	14	29	44	59	14	29	44	59	14	29	Min.	29	44	59
☒ Schanz (Jakobstraße)	47	7.02	17	32	47	8.02	17	32	47	9.02	17	32	47	10.02	17	32	47	11.02	17	32	32	47	19.02	
Lochnerstraße	49	04	19	34	49	04	19	34	49	04	19	34	49	04	19	34	49	04	19	34	34	49	04	
Turnstraße	50	05	20	35	50	05	20	35	50	05	20	35	50	05	20	35	50	05	20	35	35	50	05	
Technische Hochschule	52	07	22	37	52	07	22	37	52	07	22	37	52	07	22	37	52	07	22	37	37	52	07	
Ponttor (Pontstr.)	6.55	7.10	7.25	7.40	7.55	8.10	8.25	8.40	8.55	9.10	9.25	9.40	9.55	10.10	10.25	10.40	10.55	11.10	11.25	11.40	18.40	18.55	19.10	

## samstags

	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W				
Ponttor (Pontstr.)	9.01	9.16	9.31	9.46	10.01	10.16	10.31	10.46	11.01	11.16	11.31	11.46	12.01	12.16	12.31	12.46	13.01	13.16	13.31	13.46	15.16	15.31	15.46	
Eurogress/Spielcasino	05	20	35	50	05	20	35	50	05	20	35	50	05	20	35	50	05	20	35	50	20	35	50	
Hansemannplatz	07	22	37	52	07	22	37	52	07	22	37	52	07	22	37	52	07	22	37	52	22	37	52	
Aachen Kaiserplatz	08	23	38	53	08	23	38	53	08	23	38	53	08	23	38	53	08	23	38	53	23	38	53	
Normaluhr (Dunanstr.)	11	26	41	56	11	26	41	56	11	26	41	56	11	26	41	56	11	26	41	56	alle	26	41	56
☒ Aachen Hauptbf. H.2	12	27	42	57	12	27	42	57	12	27	42	57	12	27	42	57	12	27	42	57	15	27	42	57
Misereor	14	29	44	59	14	29	44	59	14	29	44	59	14	29	44	59	14	29	44	59	Min.	29	44	59
☒ Schanz (Jakobstraße)	17	32	47	10.02	17	32	47	11.02	17	32	47	12.02	17	32	47	13.02	17	32	47	14.02	32	47	16.02	
Lochnerstraße	19	34	49	04	19	34	49	04	19	34	49	04	19	34	49	04	19	34	49	04	34	49	04	
Turnstraße	20	35	50	05	20	35	50	05	20	35	50	05	20	35	50	05	20	35	50	05	35	50	05	
Technische Hochschule	22	37	52	07	22	37	52	07	22	37	52	07	22	37	52	07	22	37	52	07	37	52	07	
Ponttor (Pontstr.)	9.25	9.40	9.55	10.10	10.25	10.40	10.55	11.10	11.25	11.40	11.55	12.10	12.25	12.40	12.55	13.10	13.25	13.40	13.55	14.10	15.40	15.55	16.10	

W = ab Ponttor nach kurzem Aufenthalt weiter in Richtung Eurogress – Kaiserplatz

Abstracts  
der 67. Jahrestagung der  
Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft

Aachen, 26. bis 29. März 2007

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Verzeichnis</b>	<b>3</b>
	Autorenverzeichnis . . . . .	4
	Verzeichnis der Vorträge . . . . .	15
	Verzeichnis der Poster . . . . .	23
<b>2</b>	<b>Abstracts</b>	<b>31</b>
2.1	S1 - Hydrogeophysics . . . . .	32
2.2	S2 - Geothermal Energy . . . . .	93
2.3	S3 - High-Performance Computing . . . . .	128
2.4	S4 - Sedimentary Basin Dynamics . . . . .	148
2.5	S5 - Scientific Drilling . . . . .	165
2.6	AG - Archäogeophysik . . . . .	188
2.7	BP - Bohrlochgeophysik und Petrophysik . . . . .	194
2.8	EM - Elektromagnetik . . . . .	214
2.9	EP - Extraterrestrische Geophysik . . . . .	233
2.10	GD - Geodynamik . . . . .	236
2.11	GE - Geoelektrik . . . . .	250
2.12	GS - Geschichte der Geophysik . . . . .	268
2.13	GV - Gravimetrie . . . . .	272
2.14	MA - Magnetik . . . . .	282
2.15	ME - Erdmagnetismus . . . . .	286
2.16	MG - Marine Geophysik . . . . .	289
2.17	PL - Planetologie . . . . .	315
2.18	RD - Georadar . . . . .	321
2.19	SM - Seismik . . . . .	328
2.20	SO - Seismologie . . . . .	359
2.21	UI - Umwelt- und Ingenieurgeophysik . . . . .	429
2.22	VU - Vulkanologie . . . . .	449

---

# **Kapitel 1**

## **Verzeichnis**

## Autorenverzeichnis

- A**
- Abu-Ayyash, Khalil ..... 153  
 Afanasjew, Martin ..... 231  
 Agostini, Matteo ..... 69  
 Agricola, Thomas ..... 266  
 Akdogan, Aysun Nilay Dinc ... 378, 415,  
 416, 418  
 Aktar, Mustafa ..... 376  
 Alali, Firas ..... 205  
 Alber, M. .... 211  
 Alber, Michael ..... 425  
 Aldushina, Elena ..... 398  
 Ali, Mohamed Abdelwahab Mohamed 189  
 Alles, Sascha ..... 156  
 Alvarado, Guillermo ..... 415, 416  
 Anferov, Vladimir ..... 35  
 Anferova, Sophia ..... 35, 68, 91  
 Anikiev, Denis ..... 364  
 Appel, Jörg ..... 354–356  
 Arndt, Sven ..... 159, 160  
 Arnold, Juliane ..... 68, 91, 92  
 Arroyo, Ivonne ..... 378, 418  
 Asch, G. .... 370  
 Asch, Günter ..... 386  
 Auken, Esben ..... 227
- B**
- Bach, Mathias ..... 75  
 Back, Martin ..... 119  
 Back, Stefan ..... 239  
 Bae, Gwang-Ok ..... 113  
 Baisch, Stefan ..... 95, 365  
 Balling, Nils ..... 417  
 Baranwal, Vikas C. .... 216  
 Barbirye, Paula ..... 99  
 Barckhausen, Udo ..... 293, 306  
 Barsch, Robert ..... 420  
 Barth, Andreas ..... 385  
 Bataille, K. .... 407  
 Bataille, Klaus ..... 379  
 Batte, Arthur ..... 408  
 Bauer, Klaus ..... 102, 109  
 Baumann, Gunther ..... 197  
 Bayer, Ulf ..... 149, 150  
 Baykulov, Mikhail ..... 155  
 Becken, Michael ..... 179  
 Becker, Katharina ..... 109  
 Bedrosian, Paul A. .... 179  
 Behoukova, Marie ..... 241  
 Behrens, Horst ..... 117, 180  
 Beilecke, Thies ..... 41  
 Ben-Avraham, Zvi ..... 153  
 Berglar, Kai ..... 290, 292, 301, 311  
 Bernard, Jean ..... 69  
 Bialas, Jörg ..... 296  
 Bielik, Miroslav ..... 279  
 Binley, Andrew ..... 58  
 Binot, Franz ..... 56, 264  
 Birnstiel, Hendrik ..... 267  
 Bischof, Christian ..... 137  
 Bischoff, Monika ..... 425  
 Blaschek, Roland ..... 56, 71  
 Bleibinhaus, Florian ..... 331, 348, 351  
 Blindow, N. .... 193  
 Blindow, Norbert ..... 322  
 Blöcher, Guido ..... 101, 142  
 Blome, Mark ..... 141  
 Blümich, Bernhard ..... 68, 91, 35  
 Blumenthal, Manuel ..... 124  
 Bock, Melanie ..... 261  
 Böniger, Urs ..... 88  
 Börner, Ralph-Uwe . 115, 216, 219, 220,  
 231, 284, 310, 451  
 Börngen, Michael ..... 270  
 Böse, Maren ..... 393



## Autorenverzeichnis

---

Bohlen, Thomas	130, 336, 345, 352, 353	Christiansen, Anders Vest	227
Bohm, M.	370	Ci, Xinhua	212
Bohnhoff, Marco	376	Class, Holger	136
Bormann, Peter	383, 390–392	Clauser, Christoph	66, 68, 91, 92, 103, 110, 111, 119, 120, 123, 124, 161
Braatz, Mandy	398	Cong, X.	384
Braitenberg, Carla	152	Cramm, Stefan	41
Brajanovski, Miroslav	339, 341	Cypionka, Heribert	170
Brandt, Wulf	101	Cyrell Eckhardt, Wolfgang Rabbel	387
Brasse, Heinrich	229		
Brauchler, Ralf	38	<b>D</b>	
Braun, Martina	46	Dahm, T.	407
Breede, Katrin	85	Dahm, Torsten	360, 371, 372, 379, 421, 450
Breuer, Martin	244	Damm, Volkmar	305
Brink, Heinz-Jürgen	155	David, Petra	157
Brotopuspito, Kirbani S.	370	Dedecek, Petr	112
Brüstle, A.	413	Dehghani, Ali	371, 450
Brüstle, Andrea	396, 410, 419	Dewhurst, David	333
Bublitz, Jessica	122	Dietrich, Peter	38, 47
Buckup, Klaus	196	Dijkshoorn, Lydia	114, 125, 185, 187
Buckup, Philipp	195	Dimitriadis, Iordanis	450
Büchel, Georg	168	Dinske, Carsten	342
Bulut, Fatih	376	Djajadihardja, Yusuf	290, 304, 308
Buness, Hermann	177	Dlugosch, Raphael	87
Bunge, Hans-Peter	131, 139, 140	Docekal, Andrea	381
Burkhardt, Hans	189	Dümmong, Stefan	329
Busch, Andreas	156	Dumbser, Michael	143
Buske, Stefan	332, 349, 350	Dzierma, Yvonne	415, 416
<b>C</b>		<b>E</b>	
Cacace, Mauro	149	Ebbing, Jörg	152
Canty, M. J.	384	Ebigbo, Anozie	136
Caputo, Riccardo	191	Edwards, Nigel	297
Cartwright, Joe	170	Ehrhardt, Axel	151, 308
Casassa, G.	280	Eiermann, Michael	231
Ceranna, Lars	377, 380, 398	Eisen, Olaf	176
Cermak, Vladimir	112, 169	Eisenburger, D.	193
Cesca, Simone	360, 421	El-Kelani, Radwan	153
Chalbaud, Daniel	332	Elbeshausen, Dirk	132, 320
Charissé, T.	105	Endres, Heike	154
Chatziliadou, Maria	185		
Childs, Dean	376		

## Autorenverzeichnis

---

Engels, Martin	293, 304
Ernst, Jacques	129
Ernst, Oliver G.	220, 231
Ersoy, Yasar	190
Erzinger, Jörg	167
Escuer, Maria	366
Esen, Georg	104, 376
Essen, Katja	345, 398
Evers, Hermann	126

### F

Fabian, Marcus	298
Fahl, André	244
Faleide, Jan Inge	417
FechnerBerhhard, Thomas	448
Fehr, Annick	92
Feller, Stephan	354, 355
Fettig, Andreas	326
Fischer, K.D.	413
Fischer, Peter	442
Flóvenz, Ólafur	106
Flechsigt, Christina	256
Fleischer, Claus	395
Flueh, Ernst	247, 299, 304, 311, 312, 378, 415, 416, 418
Forbriger, Thomas	363, 369, 375, 400, 403
Franke, Antje	216, 219, 451
Franke, Dieter	151, 290, 301, 305, 308
Frederichs, Thomas	291
Fricke, Hui	444
Friederich, W.	413
Friederich, W.	424
Friederich, Wolfgang	345, 396, 398, 410, 419
Friedrichs, Bernhard	163
Fritzsche, Diedrich	176
Frömmel, Sascha	226
Funke, Sigward	381
Furche, Markus	53
Furlong, Kevin P.	145

### G

Gabriel, Gerald	177
Gaede, Oliver	333
Gaedicke, Christoph	290, 292, 301, 304, 308, 311, 354–356
Gajewski, Dirk	155, 329, 364
Gaw, Viola	299
Gebauer, André	166, 237
Gebrande, Helmut	351
Gehrmann, Romina	302
Geilhausen, Martin	447
Geimer, Markus	134
Geissler, Wolfram	404
Gent, Heijn W. van	239
Gerhards, Holger	65
Gestermann, Nicolai	380, 388
Ghergut, Iulia	117, 180
Giese, Rüdiger	353, 440
Gläser, H.-R.	202
Görgün, Ethem	376
Götze, Hans-Jürgen	159, 160, 279
Gorling, L.	357, 441
Gossler, Jürgen	415
Govers, Rob	145
Graphchikov, Alexander	199
Green, Alan	434
Green, Alan G.	129
Grifka, Manuel	162
Grinat, Michael	431
Grisseemann, Christoph	53
Groos, Jörn	367, 397
Groschup, Robin	351
Groß, K.	350
Großwig, Stephan	108
Grützner, Christoph	192
Günther, T.	441
Günther, Thomas	53, 265
Güttel, Stefan	231
Gundelach, V.	193
Gutdeutsch, Rolf	383
Gutjahr, K.	384

## Autorenverzeichnis

---

Gutjahr, Stine ..... 349	Holland, Marc ..... 246
<b>H</b>	Holliger, Klaus ..... 129
Haas, Christian ..... 217	Hort, Matthias ..... 122, 450
Haberland, C. .... 407	Haupt, Lars ..... 229
Haberland, Christian ..... 360, 379	Hübscher, Christian ..... 170, 329, 450
Häge, Martin ..... 411	Huenges, Ernst ..... 101, 104
Hanebuth, Till ..... 291	Huhn, Katrin ..... 147, 240, 294, 313
Hansen, Ulrich ..... 133, 242, 244	Hunze, Sabine ..... 207
Hanstein, Tilman ..... 212, 215	Hurtig, Eckart ..... 108
Hanus, Vaclav ..... 241	Hwang, Seho ..... 54
Hartmann, Gernot ..... 380, 405	<b>I</b>
Hauck, Christian ..... 75, 78, 447	Igel, Heiner ..... 131, 135, 140, 143, 420
Heimann, Ansgar ..... 164	Igel, Jan ..... 324
Heimann, Sebastian ..... 421	Iturrieta, C. .... 280
Heincke, Bjoern ..... 434	Iwanowski, Katja ..... 89
Heit, Benjamin ..... 386	<b>J</b>
Helwig, Stefan ..... 215, 223	Jacob, Robert W. .... 44
Henger, Manfred ..... 380, 388	Jacobs, Franz ..... 258, 270, 438
Hengesbach, Laska ..... 163	Jacoby, Wolfgang ..... 106
Hensch, Martin ..... 450	Jäckel, Karl-Heinz ..... 346
Hensen, Christian ..... 302	Jahnke, Gunnar ..... 380
Hertrich, Marian ..... 36, 83	Jahr, Thomas 59, 87, 166, 168, 237, 238, 273, 277
Herzog, Christoph ..... 108	Jahto, Reiner ..... 126
Hese, Fabian ..... 159, 160	Jakovlev, A. .... 423
Heyde, Ingo ..... 290, 306	Jakovlev, Andrej ..... 99, 408
Hinz, Karl ..... 151	Jaksch, Katrin ..... 440
Hinzen, Klaus-G. .... 394, 395, 409	Jang, Seonghyung ..... 138
Hinzen, Klaus-Günther ..... 191	Javaux, Mathieu ..... 58
Hirsch, Markus ..... 435	Jentzsch, Gerhard ..... 166
Hirt, Ann M. .... 285	Jetschny, Stefan ..... 353
Hock, Silke ..... 358	Jokisch, Tobias ..... 190, 337
Hördt, Andreas ..... 56, 71, 264	Jorand, Rachel ..... 110, 111
Hoffmann, Norbert ..... 163	Jordan, Michael ..... 368
Hoffmann, Sven ..... 41	Joswig, Manfred ..... 399, 411
Hoffmann, Thomas ..... 447	Jougnot, Damien ..... 42
Hofmann, Barbara ..... 360	Jung, Andre ..... 232
Hofmann, Kay ..... 317	Jung, Reinhard ..... 126
Hofmeister, Knut ..... 126	Junge, Andreas ..... 266
Hole, John ..... 331	
Holl, Heinz-Gerd ..... 101	

## Autorenverzeichnis

---

Jungmann, Matthias	201	Kopp, Heidrun	247, 304, 311, 312, 370, 373
Junker, Ralf	126	Korn, Michael	381
Just, Anita	258, 438	Koulakov, I.	370, 373, 423
<b>K</b>			
Käppler, Rolf	284	Koulakov, Ivan	378, 418
Käser, Martin	143	Krabbenhöft, Anne	311, 312
Kaiser, Diethelm	383	Krastel, Sebastian	291, 294, 300, 313
Kalka, Sebastian	354–356	Krause, Peter	59
Kappes, Regina	203	Krawczyk, Charlotte M.	154, 249
Karabulut, Hayrullah	376	Kresl, Milan	112
Karp, Tobias	330	Kreutzmann, Anja	229
Kashtan, Boris	364	Krijgsman, Wout	170
Kaul, Norbert	294, 300	Krimigis, S. M.	234
Kehrer, Peter	126	Krings, Thomas	116
Kemna, Andreas	56, 58, 64	Kröger, Bernd	254
Keppler, Hans	354, 355	Kroner, Corinna	59, 87, 237, 273, 277
Kessler-Schulz, Karin U.	278	Krooss, Bernhard M.	156
Kim, Hyoung Chan	96	Krüger, Frank	372, 404, 421, 428
Kim, Kue-young	54	Kruk, Jan van der	44, 323
Kim, Seong-Kyun	113	Kruschwitz, Sabine	252
Kind, Rainer	374, 386, 404, 408, 421	Krzikalla, Fabian	146, 422
Kink, Daniela	358	Kühn, Daniela	371
Kirsch, Reinhard	40	Kühn, Michael	119, 120, 123, 124
Kläschen, Dirk	299	Kümpel, H.-J.	275
Klinge, Klaus	402, 405	Küperkoch, L.	413
Klitzsch, Norbert	71, 92	Küperkoch, Ludger	396
Klügel, Thomas	274	Kütter, Sissy	451
Knapmeyer, Martin	361	Kuka, Katrin	445
Koch, Andreas	110, 111	Kukkonen, Ilmo	175
Koch, Manfred	389	Kukla, Peter	154, 158, 164, 172, 185, 239
Kock, Ingo	240, 294, 313	Kupfer, Klaus	81
Köhler, Nina	393	Kurrle, Dieter	412, 426
Köhn, Daniel	130, 336	Kvaerna, Tormod	417
Köstel, Johannes	58	<b>L</b>	
Kohl, Thomas	100, 121	Ladage, Stefan	151, 290, 292, 301, 308, 311
Koller, Christian	200	Lambot, Sébastien	49, 67
Koo, Min-Ho	96	Landes, Michael	368
Kooper, Koen	49	Lange, D.	407
Kopf, Achim	294, 313	Lange, Dietrich	379

## Autorenverzeichnis

---

Lange, Gert De .....	170	Lutz, Rüdiger .....	292, 301, 354–356
Lange, Jörn .....	215, 263	<b>M</b>	
Lau, Tobias .....	168	Mégel, Thomas .....	100
Lebedev, S. ....	424	Mackedanz, Jürgen .....	394
Lee, Kang-Kun .....	113	Magri, Fabien .....	150
Lee, Youngmin .....	96, 97	Maineult, Alexis .....	80
Legarth, Björn .....	104	Malischewsky, Peter .....	362
Legendre, C. ....	424	Malservisi, Rocco .....	145
Legendre, Cedric .....	419	Manzanares, A. ....	370
Lehmann, Bodo .....	33	Margerin, Ludovic .....	427
Lehmann, Klaus .....	208	Marotta, A. M. ....	149
Leiss, Bernd .....	285	Marquardt, Mathias .....	302
Lentes, Frank-Thomas .....	261	Marschall, Karin .....	435
Lester, W. Ryan .....	331	Martin, Roland .....	223
Leven, Carsten .....	47, 61	Martin, Tina .....	63
Lewis, Roland .....	448	Mauk, B. H. ....	234
Li, Xin .....	147	Maupin, Valerie .....	417
Li, Xueqing .....	374	Maurer, Hansruedi .....	129, 141, 434
Liberatore, Domenico .....	191	Mechie, James .....	153, 344
Licha, Tobias .....	117	Meier, Kristina .....	329
Liedl, Rudolf .....	38	Meier, T. ....	413
Linde, Niklas .....	42	Meier, T. ....	211, 424
Lindenfeld, Michael .....	99, 408	Meier, Thomas .....	396, 410, 419, 425
Lindeque, A.S. ....	248	Meiler, Michael .....	153
Linder, Steffen .....	435	Merbach, Ines .....	445
Lippert, Klaus .....	442	Meßinger, Jens .....	325
Littke, Ralf .....	157, 158, 164	Meyer, Robert .....	123
Lobach, John .....	217	Meyn, Volker .....	123
Lodemann, Manuela .....	180	Micksch, U. ....	249
Lögering, Markus .....	185	Miller, Heinz .....	176
Lohr, Tina .....	154	Milsch, Harald .....	101
Loosveld, Ramon .....	246	Misiek, Rüdiger .....	330
Lopes, Carla .....	366	Mitchell, D. G. ....	234
Lorenz, Bernhard .....	448	Mittag, Reinhard .....	381
Lotze, Martin .....	261	Moder, Christoph .....	140
Luehr, B.-G. ....	373	Moeck, Inga .....	101, 102
Lühr, Birger-G. ....	370	Möller, Alexandra .....	242
Lünenschloss, Brita .....	185	Möller, Marcus .....	262
Lüschen, Ewald .....	304, 312	Mohamed, Nuha .....	72
Lüth, Stefan .....	353, 440	Mohnke, Oliver .....	69
Lundershausen, Stephan .....	108		

## Autorenverzeichnis

---

Mohr, Marcus	139	Pape, Hansgeorg	68, 91, 120, 124
Mora, Mauricio	416	Park, Inhwa	54
Mottaghy, Darius	110, 111, 114	Park, Ki Hwa	54
Müller, A.	234	Park, Kwon Gyu	54
Müller, Christian	293, 302, 304, 308, 312	Park, Stephen K.	179
Müller, Christof	190, 337, 439, 446	Pawlik, Andreas	71
Müller, Martin	197, 205	Pechnig, Renate	68, 91, 110, 111, 183, 187
Müller, Tobias	146, 338, 339, 341, 422	Peiffer, Stefan	119
Mueller-Petke, Mike	221	Perk, Markus	433
Münch, H.-M.	275	Peter, Dietrich	435
Muench, Thomas Willi	389	Petersen, Hauke	443
Mürmann, Mario	123	Petersen, Sven	174
Munoz, Gerard	116	Petzold, Hellfried	330
<b>N</b>		Piazzoni, Antonio	131
Nam, Jungmi	97	Pichon, Alexis Le	377
Naujoks, Marco	59	Planert, L.	312
Neben, Sönke	151, 292, 301, 305, 308	Plenefisch, Thomas	401, 402, 405, 414
Nelskamp, Susanne	157	Polisky, Vitaly	341
Neubauer, Fritz M.	316	Polom, Ulrich	41, 357
Niederleithinger, -Ernst	432	Puente, Josep de la	143
Niederleithinger, Ernst	63, 252, 436, 448	<b>Q</b>	
Nießen, Jürgen	448	Qabbani, Issam	153
Nil, Denise De	352, 353	Qiu, Longqing	288
Noell, Ursula	53	<b>R</b>	
Nordsiek, Sven	209	Rabbel, W.	370, 373
Nover, Georg	162, 213	Rabbel, Wolfgang	89, 159, 160, 190, 247, 337, 378, 415, 416, 418, 439, 443, 446
<b>O</b>		Rabenstein, Lasse	217
Oberdörster, Christoph	64	Raschick, Annegret	210
Oberhänsli, Roland	182	Rath, Volker	66, 71, 120, 124, 161
Ochmann, Norbert	99	Rawnsley, Keith	246
Oeser, Jens	139	Reboulet, Ed	435, 445
Ohrnberger, Matthias	371, 428	Regenauer-Lieb, Klaus	261
Oncken, Onno	154	Rehor, Lisa	400
Orlowsky, Dirk	33	Reicherter, Klaus	192
Otto, D.	193	Reinhardt, Lutz	356
Otto, Michael	285	Reinicke, Andreas	101, 104
<b>P</b>			
Paasche, Hendrik	61, 430, 435		
Papazachos, C.	413		

## Autorenverzeichnis

---

Reitmayr, G. ....	280	Schade, Sara ....	318
Renner, Jörg ....	80, 199	Schäfer, Anja ....	229
Rentsch, Susanne ....	349	Schauer, Michael ....	311
Reston, Timothy J. ....	296, 299	Scherbaum, Frank ....	362, 371
Reuning, Lars ....	164	Scheunert, Thomas ....	310
Revil, André ....	42	Schicht, Thomas ....	340
Rheinsch, Thomas ....	395	Schildknecht, Friedrich ....	89
Riedel, Carsten ....	366	Schill, Eva ....	105, 121, 122
Rietbrock, A. ....	407	Schilling, Nico ....	235, 316
Rietbrock, Andreas ....	360, 379	Schléder, Zsolt ....	158
Rifai, Haifa ....	203	Schlesinger, Angela ....	159, 160
Rings, Jörg ....	78	Schlittenhardt, J. ....	384
Ritter, Joachim ...	363, 367, 368, 397, 406, 417	Schlittenhardt, Jörg ....	389
Ritter, Oliver ....	116, 179, 232	Schlittenhardt, Jörg ....	388
Robertson, Alastair ....	170	Schmalholz, Jürgen ....	51
Rode, Walter ....	41	Schmalz, Thilo ....	224
Rodemann, Helmut ....	260	Schmidt, Andreas ....	410, 419
Roeser, Hans Albert ....	283	Schmidt, Volkmar ....	285
Rößler, Dirk ....	428	Schmidt-Aursch, Mechita ....	410
Rohner, Ernst ....	98	Schmucker, Ulrich ....	218
Rolf, Christian ....	177	Schnabel, Michael ....	305
Rommel, Ines ....	36	Schoemaker, Ferdinand ....	76
Roth, Kurt ....	65	Schönfelder, Wiete ....	202
Rotvig, Jon ....	287	Schoenherr, Johannes ....	158, 164
Rücker, Carsten ...	256, 258, 261, 265, 438	Scholl, Carsten ....	297
Rühaak, W. ....	66, 161, 357, 441	Schreckenberger, Bernd ....	151, 306
Rümpker, G. ....	423	Schreiber, Stephan ....	191
Rümpker, Georg ....	109, 408	Schuberth, Bernhard ....	131, 140
Ruifeng, Liu ....	390	Schünemann, Jörn ....	251, 266
Rumpel, Hanna-Maria ....	74	Schütze, Claudia ....	256, 258, 438
Rybach, Ladislaus ....	94	Schütze, Heidrun ....	273
Ryberg, T. ....	248, 249	Schulz, H. Richard ....	278
<b>S</b>			
Sèbe, Olivier ....	363	Schulz, R. ....	357, 441
Saadat, Ali ....	101	Schulze, Albrecht ....	102
Safanda, Jan ....	112, 169	Schulze, Katja C. ....	172
Saul, Joachim ....	391, 392	Schwalenberg, Katrin ....	297
Saur, Joachim ....	234, 235, 316	Schwander, Jakob ....	176
Sauter, Martin ....	38, 117, 180	Schwarzbach, Christoph ....	225
		Schweitzer, Johannes ....	270, 382, 417
		Seisa, Hamdy ....	343
		Selg, Matthias ....	203

## Autorenverzeichnis

---

Sens-Schoenfelder, Christoph	90	Stöckhert, Bernhard	398
Sens-Schönfelder, Christoph	427	Stötzner, Ulrich	448
Senze, Andrea	108	Storz, Wolfgang	310
Serfling, Ulrich	258, 438	Strack, Kurt M.	212
Shapiro, Serge	333, 342, 349, 350	Strahser, Matthias	89
Sharma, P.	216	Strehl, Stephan	83
Shim, Byoung-Ohan	113	Streich, Rita	323
Shin, Jehyun	54	Strobach, Elmar	80
Shulgin, A.	312	Strozyk, Frank	291, 294, 313
Siedow, Nobert	261	Strutz, M. A.	211
Siemon, Bernhard	227, 228	Suc, Jean-Pierre	170
Silva, Pablo G.	192	Südekum, Wolfgang	431
Silva, Rita	366	Suh, Jung Hee	97
Silveira, Dina	366	Suh, Sangyong	138
Sindern, Sven	185	Sulzbacher, Hans	126, 127
Slob, Evert	49, 67, 76		
Smeulders, D.M.J.	76	<b>T</b>	
Smith, Dave	174	Talnishnikh, Elena	35, 68, 91
Sobisch, Hans-Georg	433	Tanner, David C.	154
Soemantri, Dzulkaernaen D. P.	304	Tappin, David	290, 308
Soergel, U.	384	Tasarova, Zuzana Alasonati	279
Soffel, Heinrich	269	Taylor, Waldo	415, 416
Song, Insun	199	Taymaz, T.	413
Song, Yoonho	96, 97, 113	Taymaz, Tuncay	450
Spicak, Ales	241	Temmler, Thomas	302
Spillmann, Tom	434	Tessmer, Ekkehart	364
Spitzer, Klaus	115, 216, 219, 220, 231, 284, 310, 451	Teutsch, Georg	47
Stadtler, Christopher	99	Tezkan, Bülent	63, 223, 224, 263, 433, 442
Stahl, Timo	199	Thiel, Manfred	235
Stallmach, F.	202	Thorwart, Martin	378, 415, 416, 418
Stammeler, Klaus	405, 421	Thybo, Hans	417
Stanchits, Sergei	104, 333	Tiehle, Rainer	330
Stanjek, Helge	119	Tischner, Torsten	126
Stavrakakis, G.	413	Tittel, Bernd	270
Stegmann, Silvia	294	Toms, Julianna	338
Steinhage, Daniel	176	Trappe, Henning	154
Steinle-Neumann, Gerd	131	Trautwein-Bruns, Ute	172, 183, 185
Sticher, Annemarie	296	Trela, Christiane	436
Stier, Frank	346	Trinks, Eberhard	81
Stiller, Manfred	153, 249, 346	Tronicke, Jens	61, 88, 430



## Autorenverzeichnis

---

Tuan, Tran Thanh .....	362	Weidle, Christian .....	417
Twesigomwe, Ezra .....	408	Weidler, Ralph .....	95, 365
<b>U</b>			
Uchtmann, Sven .....	437	Weinrebe, Wilhelm .....	311
Uenzelmann-Neben, Gabriele .....	147	Weise, Adelheid .....	59, 277
Uiventak, Anthony .....	56, 264	Weiss, Robert .....	317
Ullmann, Angelika .....	284	Weller, Andreas .....	85, 209, 262, 448
Urai, Janos .. 158, 164, 170, 185, 239, 246		Wellmann, Florian .....	122
<b>V</b>			
Vanclooster, Marnik .....	67	Wellmann, J.F. ....	105
Vanderborght, Jan .....	64	Wendt, A. ....	280
Vanek, Jiri .....	241	Wendt, Gert .....	190, 337
Vanelle, Claudia .....	364	Wendt, J. ....	280
Vasterling, Margarete .....	115	Wendt, Siegfried .....	381, 390, 391
Ventouzi, .....	413	Wenzel, Friedemann .....	385, 393
Vereecken, Harry .....	58, 64, 67, 275	Werban, Ulrike .....	47, 445
Villinger, Heinrich .....	298	Widmer-Schnidrig, Rudolf .....	412, 426
Vörös, Robert .....	95, 365	Wiebe, Heiko .....	263
Vollmer, Daniel .....	371	Wiederhold, Helga .....	74
<b>W</b>			
Wagner, D. ....	370, 373	Wiersberg, Thomas .....	167
Wagner, Diana .....	247	Wigger, P. ....	350
Wagner, Gerlind .....	299	Wilhelms, Frank .....	176
Wagner, Michael .....	406	Wilke, Thorsten .....	261
Wagner, Norman .....	81	Wilken, Dennis .....	439, 446
Wagner, Roland .....	98, 123	Willenberg, Heike .....	434
Wagner-Friedrichs, Michelle .....	291	Willoughby, Ele .....	297
Wallenstein, Nicolau .....	366	Wit, Maarten de .....	232, 248
Wallmann, Klaus .....	302	Wittwer, Andreas .....	247, 373
Wallner, Herbert .....	106	Wölbern, Ingo .....	386, 408
Walter, Marco .....	399	Wölz, Susanne .....	190, 337, 439, 446
Walther, Marcus .....	401, 414	Wolf, Andreas .....	66, 120
Wang, Zhizhan .....	212	Wolff-Boenisch, Bonnie .....	182
Wassermann, Joachim .....	420	Wollenweber, Jens .....	156
Wawerzinek, Britta .....	368	Wollschläger, Ute .....	65
Weber, Klaus .....	409	Wonik, Thomas .....	177, 203, 207
Weber, Michael .. 102, 109, 153, 179, 248		Wünnemann, Kai .....	132, 317, 318, 320
Weckmann, Ute .....	179, 232	Wziontek, Hartmut .....	274
Wegler, Ulrich .....	90, 427	<b>X</b>	
		Xia, Tian .....	422
		Xiao, Ren .....	390
		<b>Y</b>	
		Yaramanci, Ugur .. 36, 46, 51, 69, 72, 83,	

## Autorenverzeichnis

---

197, 205, 221, 254

Yoon, Mi-Kyung .....	155
Yu, Gang .....	212
Yuan, Xiaohui .....	374, 386
Yusuf, M. Dayuf .....	312

### **Z**

Zacher, Gerhard .....	63
Zamora, R. ....	280
Ziehme, Julia .....	375
Zimmermann, Günter .....	101, 104, 142
Zisser, Norbert .....	56, 162, 213
Zöllner, Henning .....	340

## Verzeichnis der Vorträge

### S1 - Hydrogeophysics

- S1\_4** Seismic modeling of a rising mine water table ..... 33
- S1\_17** On-line NMR Core Scanner ... 35
- S1\_24** Topography effects in 2-D magnetic resonance tomography (MRT) 36
- S1\_32** Characterization of strong heterogeneous media using hydraulic travel time tomography ..... 38
- S1\_40** Geophysical mapping of buried valley aquifer systems: internal structure and vulnerability ..... 40
- S1\_65** Hydrogeophysical Investigations of Shallow Structures with Shear Waves Under Sealed Urban Conditions ..... 41
- S1\_69** Understanding self-potentials in the vadose zone ..... 42
- S1\_79** Inversion of dispersive GPR data recorded across precipitation-induced waveguides ..... 44
- S1\_82** Determining resistivity and water content from magnetic resonance sounding: Assessment of sensitivities, synthetic and field data .. 46
- S1\_84** Research Platform MOSAIC (Model-Driven Site Assessment, Information & Control) ..... 47
- S1\_150** Incorporating near surface layering for improved surface water content estimates ..... 49
- S1\_159** Georadar methods for improved small-scale soil moisture assessment ..... 51
- S1\_201** Time Lapse Resistivity Tomography: Comparison of Different Methods ..... 53
- S1\_204** Geophysical well logging and multi-level electrical conductivity and temperature monitoring for evaluating seawater intrusion in basaltic Jeju Island, Korea ..... 54
- S1\_214** Case histories of hydraulic conductivity estimation with Induced Polarisation at the field scale ..... 56
- S1\_215** Characterization of solute transport at different unsaturated flow states in an undisturbed soil monolith using time-lapse electrical resistivity tomography ..... 58
- S1\_241** Observation of time-dependent gravity variations and gravimetric 3D modelling: A new tool in the evaluation of small-scale hydrological models ..... 59
- S1\_265** Integrating hydrogeophysical data: a comparison of selected techniques ..... 61
- S1\_284** Radiomagnetotelluric (RMT) investigation of a levee - in comparison ..... 63
- S1\_294** Consideration of Different Error Sources Influencing the Derivation of Bulk Soil Electrical Conductivity Distributions with Electrical Resistivity Tomography ..... 64
- S1\_297** Measuring soil water content with ground-penetrating radar ..... 65
- S1\_300** 3D-Finite-Volume groundwater and heat-transport modeling with non-orthogonal grids, using a coordinate transformation method . 66
- S1\_337** Electric and hydraulic property identification from time-lapse GPR

- Green's function inversion ... 67
- S1\_340** Permeability prediction for low porosity rocks by mobile NMR and model theory, considering the thickness of pore interlayer with internal field gradients. .... 68
- S1\_353** Increasing success rates of drill holes for water exploration in Uganda using MRS ..... 69
- S1\_360** Interpretation of SIP Field Measurements - Potential and Limits 71

## **S2 - Geothermal Energy**

- S2\_5** The geothermal conditions in the Rhine Graben ..... 94
- S2\_57** Stimulation Induced Seismicity – Physical Mechanisms and Seismic Risk ..... 95
- S2\_155** Ground surface temperature distribution of Korea ..... 96
- S2\_156** Evidence of Climate Change in Korea inferred from borehole temperatures ..... 97
- S2\_161** Improvements of Thermal Response Tests ..... 98
- S2\_171** Microearthquake Survey at the Buranga Geothermal Prospect, Western Uganda. .... 99
- S2\_194** Numerische Analysen von hydraulischen Stimulationen ..... 100
- S2\_203** Well path design and stimulation treatments at the geothermal research well GtGrSk4/05 in Groß Schönebeck ..... 101
- S2\_272** Seismic profiling across the geothermal site at Gross Schoenebeck, Northeast German basin (I-GET project) ..... 102
- S2\_302** Influencing factors for the desirability of geothermal energy ... 103

- S2\_315** Hydraulic Proppant Fracturing and Formation Damage in a Geothermal Sedimentary Reservoir . 104
- S2\_334** Uncertainties associated with 3D geological modeling of fault-dominated geothermal fields (Upper Rhine Graben) ..... 105
- S2\_349** The use of geothermal energy in Iceland – an overview ..... 106
- S2\_354** The drillhole RWTH-1 Super C Aachen: development of the temperature field ..... 108

## **S3 - High-Performance Computing**

- S3\_142** Full-waveform inversion of crosshole georadar data acquired at the Grimsel rock laboratory, Switzerland ..... 129
- S3\_160** Parallel 3-D viscoelastic Finite Difference simulation of seismic waves - a snapshot of recent optimizations ..... 130
- S3\_196** Combining Large-Scale Computations of Mantle Convection and 3D Global Wave Propagation for Interpretation of Mantle Structure, Physics and Composition ..... 131
- S3\_249** Numerical modeling of oblique meteorite impacts in three dimensions ..... 132
- S3\_325** Computer Simulations and Numerical Experiments in Geodynamics ..... 133
- S3\_375** Scalable Trace-Based Performance Analysis of Parallel Applications ..... 134
- S3\_376** Role of High Performance Computing in Seismology ..... 135
- S3\_377** Reliability of numerical models for simulating CO2 storage in deep geological formations ..... 136

**S3\_378** Parallel Computers Everywhere ..... 137

**S4 - Sedimentary Basin Dynamics**

**S4\_1** A numerical study on the role of rheological contrasts in controlling strain localization and deviation of stresses: the example of the Central European Basin System (CEBS) ..... 149

**S4\_2** Deep-fluid flow in the North East German basin: possible transport processes ..... 150

**S4\_7** Segmentation and volcano-tectonic architecture along the volcanic margin off Argentina/Uruguay, South Atlantic ..... 151

**S4\_12** Observations on basin formation and lithospheric features in the Barents Sea ..... 152

**S4\_19** A Seismic Wide-Angle Reflection / Refraction Profile Across the Southern Dead Sea Basin ... 153

**S4\_49** A workflow for sub-/seismic structure and deformation quantification of 3-D reflection seismic data sets across different scales ..... 154

**S4\_152** CRS processing and depth migration of seismic reflection data from Northern Germany. .... 155

**S4\_180** Experimental investigation of the CO2 sealing efficiency of a regional cap rock in W Germany 156

**S4\_268** Structural evolution of the Dutch underground - a 2D modelling study ..... 157

**S5 - Scientific Drilling**

**S5\_29** A tiltmeter array associated with the large scale injection experi-

ment at the KTB/Germany: Detection of fluid induced deformation by five ASKANIA borehole tiltmeters ..... 166

**S5\_41** On the origin and spatial distribution of gas at seismogenic depths of the San Andreas Fault from drill mud gas analysis ..... 167

**S5\_53** Modeling a fluid injection in the pilot hole of the “Kontinentale Tiefbohrung der Bundesrepublik Deutschland“(KTB) using finite elements ..... 168

**S5\_60** Thermal regime and the instability of the fluid column in a borehole 169

**S5\_95** Capturing a Salt Giant – Riser Drilling Perspectives for the Levantine Basin ..... 170

**S5\_191** In situ stress determination in the deep geothermal well “RWTH-1“ ..... 172

**S5\_209** Shallow drilling of hydrothermal sites in the Atlantic using the new lander-type Rockdrill2 ..... 174

**S5\_213** Outokumpu Deep Drilling Project, Finland: Overview of aims, results and research ..... 175

**S5\_267** Scientific gain from the drilling of ice cores in combination with geophysical measurements ..... 176

**AG - Archäogeophysik**

**AG\_6** 1D, 2D and 3D Inversion of Magnetic and Resistivity Data of the Enclosure Wall in Meroe City-Sudan. .... 189

**AG\_318** Ultra-High-Resolution 2D-3D marine seismic investigation of the Limantepe/Carantina

Island archaeological site (Ur-  
la/Turkey) ..... 190

### **BP - Bohrlochgeophysik und Petrophysik**

**BP\_10** Korrelation von Bohrlochmesser-  
gebnissen und Proben ..... 195

**BP\_11** Porositätsbestimmungen aus  
Impuls-Neutron-Neutron-  
Messungen ..... 196

**BP\_107** Der Einfluss von paramagneti-  
schem Eisen in NMR-Messungen  
an synthetischen und natürlichen  
porösen Medien ..... 197

**BP\_146** Physical Properties of Fontai-  
nebleau Sandstone and Their Rela-  
tionship to Grain Contiguity 199

**BP\_270** Ermittlung geohydraulischer  
Parameter anhand der Ana-  
lyse von Probenmaterial und  
Auswertung geophysikalischer  
Bohrlochmessungen an einer  
Wasserbohrung ..... 200

**BP\_276** Texturbasierte Gesteinsklassifizie-  
rung in elektrischen Bildern von  
Bohrlochwänden ..... 201

### **EM - Elektromagnetik**

**EM\_85** Automatisierte Inversion von Me-  
talldetektordaten ..... 215

**EM\_116** Unstructured grid based 2D inver-  
sion of plane wave EM data for mo-  
dels including topography .. 216

**EM\_129** Entwicklung eines flugzeugge-  
stützten EM Systems zur Bestim-  
mung von Meereisdicken: Erste Er-  
gebnisse ..... 217

**EM\_135** Zur Interpretation von EM Induk-  
tionsdaten durch 2D Modelle in E-  
und B-Polarisation ..... 218

**EM\_274** Dreidimensionale Finite-  
Elemente-Simulation magne-  
totellurischer Messungen unter Be-  
rücksichtigung von magnetischer  
Permeabilität und elektrischer  
Permittivität ..... 219

**EM\_285** Schnelle 3D-TEM-Simulation  
durch Modellreduktion im Fre-  
quenzbereich ..... 220

### **EP - Extraterrestrische Geophysik**

**EP\_35** Das azimuthale Geschwindig-  
keitsprofil der inneren und middle-  
ren Saturnmagnetosphäre .. 234

**EP\_77** Modellierung des Neutralgasplu-  
mes am Südpol des Saturnmondes  
Enceladus ..... 235

### **GD - Geodynamik**

**GD\_31** Einfluss struktureologischer  
und lithologischer Merkmale  
auf Deformationen der oberen  
Kruste ..... 237

**GD\_43** Hochauflösende Neigungsbeobach-  
tungen am Geodynamischen Ob-  
servatorium Moxa: Instrumentie-  
rung, Daten und ein überraschen-  
des Signal ..... 238

**GD\_66** Paleostress estimation from 3D  
seismic data, Groningen gas field,  
The Netherlands ..... 239

**GD\_190** Numerical study of localization  
and micromechanics in a granular  
material ..... 240

**GD\_234** Internal tectonic structure of the  
Central American Wadati-Benioff  
zone based on analysis of afters-  
hock sequences ..... 241

**GD\_278** Plumes und Thermals - Mögliche Erklärungen für Coronae auf der Venus ..... 242

**GD\_295** Der Einfluss des Querverhältnisses in der Rayleigh-Bénard-Konvektion ..... 244

### **GE - Geoelektrik**

**GE\_74** Tensorgeoelektrische Messungen über einer eiszeitlichen Rinne 251

**GE\_94** SIP an salzbelasteten Baumaterialien und FE Modellierung von Effekten der Mikrostruktur ..... 252

**GE\_137** Modellierung von elektrokinetischen Effekten in Gesteinen mit Finiten Elementen ..... 254

**GE\_254** Geoelektrische Untersuchung einer magmatischen Entgasungszone im Eger-Rift/NW-Böhmen: Fallstudie für die Mofette Hartousov ..... 256

### **GS - Geschichte der Geophysik**

**GS\_20** Der Forscher Gustav Angenheister (1917-1991) und seine Unterstützung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft ..... 269

**GS\_219** Das Mintrop-Patent D.R.P.371963 - Im Namen des Reichs ..... 270

### **GV - Gravimetrie**

**GV\_237** Der Tuffschlot bei Ebersbrunn, Westsachsen – Modellierung von Bouguer-Schwere und magnetischem Totalfeld ..... 273

**GV\_344** Atmosphärische Schwereeffekte: Modell-Zeitreihen aus 3-dimensionalen Wettermodellen ..... 274

### **MA - Magnetik**

**MA\_141** Geomagnetische Beobachtungen an einer Blitzeinschlagstelle 283

### **ME - Erdmagnetismus**

**ME\_275** Multiple jets in rapidly rotating thermal convection ..... 287

### **MG - Marine Geophysik**

**MG\_242** Structural Architecture of the Northern Sumatra Accretionary Complex – Results from the “SeaCause” Marine Geophysical Survey with R/V SONNE .. 290

**MG\_255** Sedimentstrukturen auf dem Galizischen Schelf (NW-Spanien): Erste Ergebnisse der Poseidon-Fahrt Pos342 ..... 291

**MG\_283** Entwicklung der Forearc-Becken Nordsumatras ..... 292

**MG\_336** Erste Ergebnisse der marinen Magnetik vor Indonesien im Übergang vom Sunda- zum Banda-Bogen: Anomalien und methodische Untersuchungen ..... 293

**MG\_369** POSEIDON cruise P336 to the Cretan Sea, north of Crete – an overview about the first results ..... 294

### **PL - Planetologie**

**PL\_83** Elektromagnetische Induktion im subkrustalen Ozean von Europa durch zeitlich variable magnetosphärische Magnetfelder ... 316

**PL\_166** Evaluation of the Tsunami hazard resulting from meteorite impacts: Specification of wave characteristic by numerical modeling ..... 317

- PL\_208** Analysis on meteorite crater size – recent advances in numerical modeling of specific target properties ..... 318

### **RD - Georadar**

- RD\_16** The University of Münster Airborne 30MHz Ice Radar (UM-AIR) ..... 322
- RD\_100** Characterizing a GPR-antenna system using near-field electric field measurements ..... 323
- RD\_253** Bestimmung der kleinräumigen Variabilität des Dielektrizitätskoeffizienten von Böden und ihr Einfluss auf Georadar (GPR) Messungen ..... 324

### **SM - Seismik**

- SM\_75** Geschwindigkeitsmodellbildung: Ein Vergleich zwischen Prestack Stereotomographie und NIP-wave Tomographie am Beispiel der Messinischen Evaporite .... 329
- SM\_78** High resolution 3D-seismic survey for the exploration of a an open pit brown coal mine ..... 330
- SM\_101** Applying full waveform inversion to refraction seismic surveys 331
- SM\_126** Kirchhoff prestack depth migration of the CINCA-95 wide-angle dataset at Kirchhoff prestack depth migration of the CINCA-95 wide-angle dataset at 21 degrees S, North Chile ..... 332
- SM\_163** Stress Sensitivity of Crystalline and Sedimentary Rocks .... 333
- SM\_177** Elastische Full-Waveform-Inversion im Zeitbereich ... 336

- SM\_185** Aspekte der ultrahochauflösenden 3D-Seismik mit einem parametrischen Schallstrahler ..... 337
- SM\_199** Seismic signatures of partially saturated rocks with fractal pore fluid distribution ..... 338
- SM\_207** Characteristic frequencies of seismic attenuation in fractured porous media ..... 339
- SM\_238** Aktive Seismik im Salinar . 340
- SM\_243** Giant wave attenuation in partially saturated fractured rocks ... 341
- SM\_317** Dynamics of Hydraulic-Fracturing Related Microseismicity ..... 342
- SM\_372** Is the Optimum XY spacing of the Generalized Reciprocal Method (GRM) constant or variable? ..... 343

### **SO - Seismologie**

- SO\_8** A combined amplitude-spectra time-trace inversion to study moment tensors of ..... 360
- SO\_26** Lokalisierung von Erdbeben mit sehr dünn besetzten Netzwerken und ungenauen Daten ..... 361
- SO\_27** Analysis of osculation points on the H/V ratio ..... 362
- SO\_39** The shear wave velocity underneath Bucharest City inferred from Love waves ..... 363
- SO\_48** Source Location by a Diffraction Stack ..... 364
- SO\_56** Injektionsinduzierte Seismizität im Cooper Basin (Australien) - Charakterisierung und Kartierung eines Geothermischen Reservoirs 365
- SO\_59** The seismicity of Sao Miguel island (Azores) as recorded by per-



## Verzeichnis der Vorträge

---

- manent and temporal monitoring networks ..... 366
- SO\_71** Analyse des seismischen Rauschens im Großraum Bukarest ..... 367
- SO\_73** Teleseismische Tomographie in Irland ..... 368
- SO\_87** Beschränkung von H/V-Analysen durch Neigungen bei langen Perioden ..... 369
- SO\_109** MERAMEX - Seismische Struktur unter Zentraljava, ein Teil der Sunda Arc Subduktion ..... 370
- SO\_112** Kartierung eines flachliegenden Salzdiapirs unterhalb des dichtbebauten Stadtgebiets Hamburgs durch Aufzeichnung der natürlichen seismischen Bodenunruhe ..... 371
- SO\_122** Tiefe Spannungsänderungen durch die Kompaktion von Rotliegend-Gasfelder in Norddeutschland: Ein Potential für die Auslösung von Erdbeben? ..... 372
- SO\_140** Tomographic results and their interpretations of only active, and active & passive seismic data in Central Java, Indonesia ..... 373
- SO\_144** Global measurements of the mantle transition zone discontinuities by receiver functions ..... 374
- SO\_169** Untersuchung der Stabilität von H/V-Spektralverhältnissen in Bukarest ..... 375
- SO\_176** Spatiotemporal variations of microseismic activity and stress-field orientation at the North Anatolian Fault after the Izmit 1999 earthquake: The role of fault asperities 376
- SO\_217** Lokalisierung von akustischen Quellen in Zentraleuropa mit Hilfe von Infraschallarrays ..... 377
- SO\_222** A combined tomographic inversion of two independent amphibious networks in Costa Rica ..... 378
- SO\_244** Velocity structure of the Southern Chilean subduction zone (37° and 39°S) revealed by the TIPTEQ local seismic network ..... 379
- SO\_248** Seismische Verifikation des nordkoreanischen Kernwaffentests vom 9. Oktober 2006 - Möglichkeiten und Grenzen ..... 380
- SO\_258** Das lokale seismische Netz SX-NET in Sachsen - Konzept, Ergebnisse, Bebenfolge Werdau August/September 2006 ..... 381
- SO\_260** Untersuchungen zum Nordseebeben vom 7. Januar 2007 ..... 382
- SO\_281** Die Bedeutung der orthogonalen und der Chi-Quadrat-Regression zur Interpretation der Beziehung zwischen mb-Magnituden des Chinesischen Erdbebendienstes CENC und des NEIC ..... 383
- SO\_287** The potential of combined seismological and differential InSAR processing in a CTBT verification scenario ..... 384
- SO\_304** Frequenzabhängige Momententensorinversion am Beispiel Ostafrikas ..... 385
- SO\_311** Eine Abbildung seismologischer Strukturen unter dem Altiplano-Puna-Plateau in den Zentralanden gewonnen aus konvertierten Phasen ..... 386
- SO\_314** Untersuchung seismischer Anisotropie mittels Receiver Functions im Bereich des Deutschen Regionalnetzes. .... 387
- SO\_328** Lektionen aus dem nordkoreanischen Kernwaffentest vom 9. Ok-

- tober 2006 ..... 388
- SO\_330** Earthquake relocation in Germany allowing for Pn-anisotropy . 389
- SO\_364** The new IASPEI standard magnitudes: Necessity, measurement regulations and first results of their application ..... 390
- SO\_365** Can the standard broadband body-wave magnitude mB substitute Mwp, which is till now commonly used in tsunami early warning systems? ..... 391
- SO\_366** Determination of broadband body-wave magnitudes mB and mBc using an automatic near real-time procedure and comparison with interactive measurements and NEIC and Harvard Mw data ..... 392
- UI - Umwelt- und Ingenieurgeophysik**
- UI\_21** Gemeinsame Inversion geophysikalischer Datensätze: Ein zonierter Ansatz basierend auf fuzzy c-means Clusteranalyse ..... 430
- UI\_67** Der Einsatz vertikaler Elektrodenstrecken bei der Erkundung von Kerosin-Kontaminationen .. 431
- UI\_93** Numerische Simulation von Fundamentpfahlprüfungen ..... 432
- UI\_106** In-Field Kalibrierung geophysikalischer Daten auf kontaminierten Flächen mit Hilfe des GIS-gestützten Visualisierungswerkzeugs GSI3D ..... 433
- UI\_143** Geophysical investigations of an unstable rock slope ..... 434
- UI\_179** Kombination von seismischen und geoelektrischen Oberflächenmessungen mit CPT-Untersuchungen zur Baugrunderkundung .... 435
- UI\_221** Geophysikalische Untersuchungen zur Zustandsbewertung einer historischen Mauerwerksbrücke in Polen ..... 436
- UI\_230** Strukturerkundung in einem Salzbergwerk mit dem Georadar 437
- UI\_231** Geoelektrische Messungen (DC) zur Strukturerkundung in einem Salzbergwerk ..... 438
- UI\_271** FINOSEIS - Vorerkundung und Monitoring des Baugrunds an der neuen Forschungsplattform FINO3 (Nordsee) ..... 439
- UI\_299** Hochauflösende seismische Messungen an Lehmdeichen .... 440
- UI\_303** Integration of geophysical data into a three-dimensional geometrical model ..... 441
- UI\_310** Anwendung geophysikalischer Methoden auf geomorphologische Fragestellungen ..... 442
- UI\_346** Multisensorische Untersuchungen zum Nachweis von flächenhaften Bodenverdichtungen ..... 443

## Verzeichnis der Poster

### S1 - Hydrogeophysics

- S1\_9** Integrated Geophysical Groundwater Prospecting Techniques on Complex Aquifer Structures in Western Sudan. .... 72
- S1\_38** Geophysical mapping of buried valley aquifer systems: the project BurVal ..... 74
- S1\_99** Inversion of time dependent geoelectric and seismic data for 2D imaging of ice- and watercontent in the upper subsurface ..... 75
- S1\_128** Electrokinetic subsurface characterization ..... 76
- S1\_138** Forward-inverse resistivity modelling and numerical simulation of small-scale water processes in the shallow subsurface ..... 78
- S1\_151** Self-potential variations induced by periodic pumping tests at Kemnader See, Bochum ..... 80
- S1\_172** Numerische und experimentelle Untersuchungen zur Sensitivitätscharakteristik des TDR-Fachbandkabelsensors in verlustbehafteten und dispersiven Böden ..... 81
- S1\_182** Post-Processing of Magnetic Resonance Sounding Data Using the Discrete Wavelet Transform .. 83
- S1\_235** Correlations between electrical parameters derived from multi-salinity-SIP-Measurements and petrophysical properties ..... 85
- S1\_251** Detection of temporal and spatial hydrological variations with the Slingram method ..... 87

- S1\_266** Multi-offset vertical radar profiling: basic concepts and processing strategies ..... 88
- S1\_292** Near Surface Seismoelectric Field Measurements - Combined Interpretation and Improved Field Technique ..... 89
- S1\_335** Monitoring the Ground Water Level with Seismic Noise; An Application of Passive Image Interferometry to Merapi Volcano ..... 90
- S1\_352** Permeability prediction on low porosity rocks by mobile NMR . 91
- S1\_358** NMR and SIP measurements on rock samples ..... 92

### S2 - Geothermal Energy

- S2\_114** Anisotropic Seismic Modelling within the I-GET Project ..... 109
- S2\_117** Use of Exploration Wells to Improve Geothermal Reservoir Models ..... 110
- S2\_118** Prediction of Thermal Properties for Mesozoic Rocks of Southern Germany ..... 111
- S2\_127** Long-term monitoring of the air-ground temperature coupling under the different surface conditions - the four years completed ... 112
- S2\_157** Sensitivity Analyses of Heat-Transfer Simulations in a Closed-Loop Geothermal Heat-Pump System ..... 113
- S2\_162** Implementing a new effective finite difference formulation for borehole heat exchangers into a heat transport code ..... 114

<b>S2_211</b>	Formation and detection of electric anisotropy in artificially fractured rocks .....	115
<b>S2_218</b>	Magnetotelluric measurements in the vicinity of the Groß Schönebeck geothermal site .....	116
<b>S2_269</b>	Comparative evaluation of tracer tests in deep crystalline and sedimentary, candidate geothermal reservoirs in Germany .....	117
<b>S2_282</b>	Mineral trapping of CO <sub>2</sub> in operated hydrogeothermal reservoirs .....	119
<b>S2_298</b>	Interaction of a multi-fractured rock system with fluid flow, mass and heat transport, and chemical reactions .....	120
<b>S2_316</b>	Improved assessment of exhumation rates in the Alpine orogen using 3D numerical temperature model and fission track data .....	121
<b>S2_320</b>	Optimisation of 3D geological models for geothermal prospection using geophysical inversion methods (Soultz-sous-Forêts, France) .....	122
<b>S2_339</b>	Anhydrite cementation patterns on the core scale .....	123
<b>S2_347</b>	Numerical simulation of a tracer test from the EGS test site Soultz-sous-Forêts in France .....	124
<b>S2_359</b>	Designing a new effective finite difference formulation for borehole heat exchangers .....	125
<b>S2_373</b>	The GeneSys-Project at the GEO-ZENTURM Hannover – actual state and outlook for the locations Hannover and Horstberg ...	126
<b>S2_374</b>	Model Predictions for Cyclic Methods in the GeneSys Project	127

### **S3 - High-Performance Computing**

<b>S3_158</b>	Prestack depth migration on walk-away VSP using MPI_LAM	138
<b>S3_195</b>	TETHYS – A Tectonic High Performance Simulator for Geophysical Computations .....	139
<b>S3_197</b>	Visualisation of large datasets with Paraview .....	140
<b>S3_202</b>	Advances in 3-D geoelectric forward solvers .....	141
<b>S3_205</b>	Settle3D – A new generator for artificial porous media .....	142
<b>S3_220</b>	The ADER-DG Method: High-Order Earthquake Simulation on Tetrahedral Meshes .....	143
<b>S3_224</b>	Lithospheric strain localization and reorientation due to changes in plate motion. How does the ductile regime adapt? .....	145
<b>S3_289</b>	Parallel computation of pressure fields in poroelastic media ..	146
<b>S3_368</b>	Investigation of recent sediment transport pattern along the Transkei Basin offshore South Africa	147

### **S4 - Sedimentary Basin Dynamics**

<b>S4_33</b>	Microstructural evolution and fluid transport mechanisms of the Late Neoproterozoic to Early Cambrian Ara Salt from interior Oman	158
<b>S4_184</b>	Near surface faults originating below the Zechstein salts in the German North Sea .....	159
<b>S4_261</b>	Crustal Structure of the southern North Sea area .....	160
<b>S4_301</b>	Modeling the impact of deep fault zones on the thermal regime in a sedimentary basin .....	161
<b>S4_350</b>	A Database of petrophysical properties of rocks from the North	

- German Basin (SPP1135). . . . . 162
- S4\_361** Magnetotelluric soundings in the North German basin-new data for Lower Carboniferous palaeogeography, basin development and hydrocarbon exploration . . . . . 163
- S4\_371** Deformation structures and maturity of Infra-Cambrian carbonates from surface-piercing salt domes of interior Northern Oman: First results . . . . . 164

### **S5 - Scientific Drilling**

- S5\_28** Downhole logging experiments and rock magnetic studies within the Heidelberg Drilling Project – first results . . . . . 177
- S5\_264** A deep crustal fluid channel into the San Andreas Fault system imaged with magnetotellurics 179
- S5\_279** Single-well tracer methods as a complement to geophysical methods; characterizing 4-km deep fracture system at pilot KTB hole . . . . . 180
- S5\_343** DRILLING DEEP INTO THE CONTINENT - The coordination office ICDP Germany provides support for the participation of German researchers in the International Continental Scientific Drilling Program (ICDP) . . . . . 182
- S5\_356** Log Interpretation in the RWTH-1 Borehole . . . . . 183
- S5\_362** Aachen's Geothermal Well "RWTH-1" – The geoscientific research program . . . . . 185
- S5\_363** Physical properties in the Carboniferous and Devonian Rocks drilled in the RWTH-1 borehole . . . . . 187

### **AG - Archäogeophysik**

- AG\_30** A Quantitative Archaeoseismological Study of the Great Theatre of Larissa (Thessaly, Greece) . . . . . 191
- AG\_58** GPR in Archeoseismology - an example from the roman ruins of Baelo Claudia, Spain . . . . . 192
- AG\_345** Erkundung von oberflächennahen Strukturen und des Grundwasserhorizontes mit Georadar in der Letzlinger Heide . . . . . 193

### **BP - Bohrlochgeophysik und Petrophysik**

- BP\_45** Charakterisierung der Porenraumstruktur von Karbonat-Gesteinen verschiedener Genese . . . . . 202
- BP\_63** Bestimmung von Porositätstypen in Karbonaten mittels NMR-Spektroskopie . . . . . 203
- BP\_64** Dependence of NMR and SIP Parameters on Clay Content . . . . . 205
- BP\_108** Lithologische und strukturelle Charakteristika des Lake Bosumtwi Impaktkraters, Ghana: Interpretation der Televue Bilder 207
- BP\_113** Bohrlochkorrektur für Gamma-Ray-Logs - Strategien für die Praxis . . . . . 208
- BP\_200** Spektrale Induzierte Polarisation an Lignit . . . . . 209
- BP\_256** Skaleneffekt bei Messungen der Induzierten Polarisation im Bohrloch, an der Erdoberfläche und an Kernproben . . . . . 210
- BP\_293** Messmethoden zur Bestimmung elastischer Moduln von Gesteinsproben mittels Ultraschall . . . . . 211
- BP\_323** Application of Magnetic Resonance Mud Logging for Rapid Reservoir Evaluation . . . . . 212

**BP\_348** Anisotropy of permeability and complex resistivity of sandstones from a tight gas reservoir subjected to hydrostatic pressure ..... 213

### **EM - Elektromagnetik**

**EM\_61** A noise dependend analysis of the inverse problem to derive optimized datasets and field configurations applied to Magnetic Resonance Sounding/Tomography. .... 221

**EM\_119** 3D TEM Inversion ..... 223

**EM\_168** Vier-Kanal-Radiomagnetotellurik (RMT)-Messungen in Dänemark ..... 224

**EM\_170** Numerische Aspekte der FEM-Lösung der elektromagnetischen Wellengleichung mit absorbierenden Randschichten (Perfectly Matched Layers) ..... 225

**EM\_183** Lateral Constraint Inversion (LCI) und Inversion mit Entwicklung nach Basisfunktionen anhand von Transientenelektromagnetischen (TEM) Daten ..... 226

**EM\_189** 1D-Inversion von HEM-Daten mit seitlichen Randbedingungen ..... 227

**EM\_206** Niveaueinpassung von HEM-Daten ..... 228

**EM\_236** Elektrische Leitfähigkeitsanomalien an der Trans-Europäischen Suturezone und im Norddeutschen Becken ..... 229

**EM\_286** Comparison of Krylov Subspace Methods and Time-Stepping for TEM Simulation ..... 231

**EM\_333** Along strike variations of the Beattie Magnetic Anomaly (South Af-

rica) mapped with magnetotellurics ..... 232

### **GD - Geodynamik**

**GD\_42** Characterization of a Regional Fault and Fracture Network using a multiscale approach - A study on overpressured Carbonates, Jebel Shams, Oman. .... 246

**GD\_212** Wide-angle seismic investigation of the central Java subduction zone ..... 247

**GD\_263** A Near Vertical Seismic Reflection Profile Across the Beattie Magnetic Anomaly, South Africa 248

**GD\_277** The Seismogenic Coupling Zone in Southern Central Chile, 38° S: A Reflection seismic image of the subduction zone (Project TIP-TEQ) ..... 249

### **GE - Geoelektrik**

**GE\_51** Strukturerkundung und Monitoring von Problemzonen im Salinar mittels DC-Geoelektrik ..... 258

**GE\_86** Buchstabenrechnung (Symbolic Algebra), gekauft ("Maple") und selbst programmiert. Anwendung auf ein Problem aus der Geophysik. .... 260

**GE\_97** Untersuchung von Konvektionen im Laborversuch mit Hilfe der geoelektrischen 3D-Tomographie 261

**GE\_198** Vergleichende geoelektrische Untersuchungen an Hochwasserschutzdeichen ..... 262

**GE\_233** Joint-Inversion von Geoelektrik und Radiomagnetotellurik .. 263

- GE\_245** kf-Bestimmung mit SIP bei hohen Wasserleitfähigkeiten und für die Kornfraktion der Kiesen 264
- GE\_321** A general approach for introducing structural information – from constraints to joint inversion 265
- GE\_324** Großräumige Gleichstromgeoelektrische Messungen in einem Flachsee ..... 266
- GE\_332** Geoelektrische Untersuchungen an Deichen ..... 267

### **GV - Gravimetrie**

- GV\_14** Saisonale Änderung von Schwere und elektrischem Bodenwiderstand an einer Verwerfung in der Niederrheinischen Bucht ..... 275
- GV\_50** Geodynamische Signale in der Schwere ..... 277
- GV\_136** Verbesserung der Geländekorrekturen beim Einsatz der Mikrogravimetrie ..... 278
- GV\_247** Gravity Field Analysis of Western Carpathians and a preliminary Three-dimensional Density Modelling based on the CELEBRATION Seismic Experiment. .... 279
- GV\_291** Gravimetrie auf einer 1100 km langen Schlitten-Traversal von Patriot Hills zum Südpol ..... 280

### **MA - Magnetik**

- MA\_232** 2D- und 3D-Modellierung magnetischer Anomalien mit Finiten Elementen unter Berücksichtigung induzierter und remanenter Magnetisierung ..... 284
- MA\_257** Magnetic anisotropy of deformed carbonate rocks as an indicator of deformation processes ..... 285

### **ME - Erdmagnetismus**

- ME\_147** HTS-SQUID Based Earth Magnetic Field NMR ..... 288

### **MG - Marine Geophysik**

- MG\_13** ASTERICS (= Geophysikalische Studien nahe der Ascension Transformstörung: Evolution der Rückensegmentation und Krustenstruktur) - Erste Ergebnisse der Weit-Winkel-Refraktionsdaten ..... 296
- MG\_15** Marine Controlled Source Electromagnetic Experiments for Sediment Characterization ..... 297
- MG\_54** The Bremen Ocean Bottom Accelerometer -OBA- ..... 298
- MG\_125** Wide-angle seismic investigations of the structure of the Porcupine Basin, west of Ireland ... 299
- MG\_167** Thermal expression of geodynamic processes on the Cretan Margin ..... 300
- MG\_173** Tektonische und sedimentäre Entwicklung des Simeulue Forearc-Beckens, Nordwestsumatra . 301
- MG\_174** Kombiniertes geophysikalisch - geochemischer Ansatz zur Quantifizierung von Gashydrat .... 302
- MG\_178** The Sunda-Banda Arc Transition - First results from recent marine geophysical investigations offshore eastern Indonesia (Part 1) .. 304
- MG\_193** Auswirkungen des subduzierenden Investigator-Rückens vor der Küste Siberuts, Indonesien . 305
- MG\_228** Marine Magnetik- und Schwere-messungen an der Subduktionszone vor Sumatra ..... 306

- MG\_296** Contrasting structural styles of accretion along the Sumatra subduction zone ..... 308
- MG\_305** Dreidimensionale Simulationsrechnungen zur marinen Geoelektrik ..... 310
- MG\_306** Seafloor Morphology and Structures of the Sunda Trench off Sumatra ..... 311
- MG\_312** The Sunda-Banda Arc Transition - First results from recent marine geophysical investigations offshore eastern Indonesia (Part 2) ... 312
- MG\_367** Interpretation und Analyse seismischer Daten aus dem Bereich des Kontinentalhanges NO Kretas 313
- PL - Planetologie**
- PL\_250** Numerische Modellierung von Meteoriteneinschlägen: Einfluss des Einschlagwinkels auf die Kraterentwicklung ..... 320
- RD - Georadar**
- RD\_105** Artefaktarme Georadar-Tomographie ..... 325
- RD\_111** Qualitative und Quantitative Bewertung minimalphasiger Äquivalente ..... 326
- SM - Seismik**
- SM\_22** A 3-D, P-wave velocity, crustal structure model for Germany derived from seismic refraction / wide-angle reflection data ..... 344
- SM\_36** Modellierung von gestreuten seismischen Wellen an kleinräumigen Strukturen ..... 345
- SM\_80** Unterdrückung von (sub)harmonischen Sweep-Anteilen bei Vibroseismessungen ..... 346
- SM\_90** A 3D anisotropic seismic velocity model of the Eastern Alps from reflection and refraction traveltime tomography ..... 348
- SM\_98** Aktive und passive seismische Abbildung des San-Andreas-Verwerfungssystems ..... 349
- SM\_123** Seismic Imaging of the Subduction Zone in Southern Central Chile (Project TIPTEQ) ..... 350
- SM\_148** Steep-dip Kirchhoff-Migration enthüllt Struktur der Periadriatischen Linie ..... 351
- SM\_154** Towards beamforming of Rayleigh-to-body converted waves for seismic imaging ahead of tunnel construction ..... 352
- SM\_187** On the nature of tunnel surface waves in tunnel seismic exploration ..... 353
- SM\_223** 3D – seismische Kartierung von bright spots in direkter Umgebung eines Salzstockes ..... 354
- SM\_226** Der Dachbereich des Salzdiapirs „Birgit“ im deutschen Nordseesektor: Eine 3D-seismische Untersuchung ..... 355
- SM\_229** Subglaziale Rinnen in der deutschen Nordsee – eine 3D seismische Untersuchung ..... 356
- SM\_308** Shallow high resolution reflection seismic survey within a factorial building using shear-waves . 357
- SM\_326** Detailuntersuchung der Krustenstruktur im Bereich Niedere Tauern (Steiermark, Österreich) mit ALP2002-Daten ..... 358



## **SO - Seismologie**

- SO\_23** PreSEIS – eine Methodik zur Erdbebenfrühwarnung im Rahmen des SAFER-Projekts ..... 393
- SO\_25** Ein probabilistisches seismisches Gefährdungsmodell für die Niederrheinische Bucht und Umgebung ..... 394
- SO\_34** Ein neues strong motion Netz in der Niederrheinischen Bucht, SeFoNiB ..... 395
- SO\_37** Automatische Ereignisidentifikation mit Hilfe Statistiken höherer Ordnung ..... 396
- SO\_47** Parametrisierung im Zeitbereich des breitbandigen seismischen Rauschens im Großraum Bukarest 397
- SO\_52** Entwicklung eines petrologischen Modells der Hellenischen Subduktionszone und Berechnung der seismischen Geschwindigkeiten 398
- SO\_55** Geophysikalische Untersuchungen von Großhangbewegungen: Beispiel Heumöser Hang, Vorarlberg ..... 399
- SO\_68** Bestimmung einer Gebäudeantwort aus seismischen Breitbandregistrierungen ..... 400
- SO\_70** Tracking SKS shear-wave splitting across Central and Eastern Europe by using permanent networks and one single event ..... 401
- SO\_72** Spatiotemporal changes of the stress field in the Sunda Arc subduction zone after the 26 December 2004 Northern Sumatra earthquake inferred from inversions of earthquake focal mechanisms 402
- SO\_88** Low-frequency limit for H/V studies due to tilt ..... 403
- SO\_89** PASSEQ 2006-2008 Passive Seismic Experiment in TESZ ... 404
- SO\_110** Fortschritte bei der Auswertung von Erdbeben in Deutschland seit Einführung des GRSN vor 15 Jahren ..... 405
- SO\_115** Herdmechanismen der Erdbeben vom 10.2. und 26.3.2005 im Oberrheingraben ..... 406
- SO\_121** Seismicity, focal mechanisms, and the state of stress of the Chilean subduction Zone at 42°S ... 407
- SO\_130** Rift-related uplift of the Rwenzori mountains in Uganda investigated by seismological methods 408
- SO\_149** Die geologische Struktur des Neuwieder Beckens und ihr Einfluss auf seismische Standorteffekte ..... 409
- SO\_175** Das OBS-Netzwerk des EGELADOS-Projektes ..... 410
- SO\_181** Zeitliche und räumliche Ähnlichkeitsuntersuchungen von Nachbeben des Waldkirchbebens .. 411
- SO\_188** Anregung langperiodischer Rayleighwellen an kontinentalen Küstengebieten ..... 412
- SO\_192** Untersuchungen des Kythira-Erdbebens (SW Ägäis) am 8.Januar 2006 mit Hilfe des EGELADOS-Netzes ..... 413
- SO\_216** Vollautomatische Analyse von SKS-Scherwellen-Splitting für regionale seismologische Netzwerke ..... 414
- SO\_225** Seismicity of Southern Nicaragua and Northern Costa Rica : A Combined Offshore and Onshore Study ..... 415
- SO\_227** Receiver function and non-volcanic tremor studies in Costa

## Verzeichnis der Poster

---

- Rica ..... 416
- SO\_239** MAantle investiGations of Norwegian Uplift Structure (MAGNUS) - a flying start into Topo Europe 417
- SO\_246** Subduction zone structure and related processes beneath central Costa Rica ..... 418
- SO\_259** Untersuchung analoger Wellenformen am Beispiel des 1956 Erdbebens ( $M_s=7.4$ ) in der südlichen Ägäis ..... 419
- SO\_262** Archiving, processing and simulation of multi-component data in seismology using Web Services ..... 420
- SO\_280** Kinematic source parameters for strong earthquakes: A new modular and efficient inversion code, based on a Greens function database for the whole earth ..... 421
- SO\_288** Analytische Abschätzungen der Streudämpfung in zufallsverteilten Medien ..... 422
- SO\_290** Anisotropic local travel-time tomography with examples from the Baikal and Rwenzori regions 423
- SO\_309** Preliminary 3D S-wave velocity model of the European upper mantle from inversion of Surface and S waveforms ..... 424
- SO\_319** HAMNET - ein lokales seismologisches Netz zur Untersuchung bergbauinduzierter Seismizität in Hamm ..... 425
- SO\_322** Das Gräfenberg Array - Langperiodische Datenqualität nach der Seismometer Umrüstung ... 426
- SO\_331** Ausbreitung und Dämpfung von  $L_g$ -Wellen in kontinentaler Kruste ..... 427
- SO\_370** Bruchausbreitung des TsE (Mw7,7) am 17. Juli 2006 vor Java ..... 428

## UI - Umwelt- und Ingenieurgeophysik

- UI\_165** Neue Instrumentierung zur mikro-seismischen Überwachung auf der Schachtanlage Asse II ..... 444
- UI\_252** Geophysikalische Untersuchungen auf dem Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt ..... 445
- UI\_273** Numerische Studie zur seismischen Analyse von Kompaktierungs-zonen am FINO3 Monopile ... 446
- UI\_351** Anwendung multipler geophysikalischer Methoden zur Rekonstruktion der Flussgeschichte der Sieg ..... 447
- UI\_355** Schwachstellenanalyse an Flussdeichen ..... 448

## VU - Vulkanologie

- VU\_102** Volcanic Hazard Risk assessment of Columbo Seamount (Aegean Sea, Greece) ..... 450
- VU\_240** 3-D simulation of magnetotelluric fields at Stromboli ..... 451

# **Kapitel 2**

## **Abstracts**

---

## **2.1 S1 - Hydrogeophysics**

Dirk Orłowski (DMT-Essen) , Bodo Lehmann

## **Seismic modeling of a rising mine water table**

Email: dirk.orłowski@dm.t.de

In deep coal mining areas in Germany the mine water table is regulated by a water pump system such that the drinking water at the earth's surface is not influenced. Nevertheless, in the next years it is planned to reduce the pumping rate in selected areas or to stop the pumps completely. Thus, the mine water table will rise and will effect the hydrogeologic situation at the earth's surface. To minimise or to avoid critical changes it will be necessary to determine the effects of a rising mine water table in advance. For a detailed forecast the exact depth of the mine water table has to be monitored during the rising process. For the modelling of possible changes at the earth's surface using the so called box model, a finite element model of the hydrogeologic situation in the Ruhr Area has been developed. To observe the depth of the mine water table usually old shafts or exploration drill holes are used at selected locations. Nevertheless, there are to less observation stations for a detailed modelling of the complete Ruhr Area so that additional observation locations are needed. To avoid the construction of expensive and complicated drill holes for a mine water observation down to more than 1000 m depth an alternative technique to monitor the rising of the mine water table could be the time-lapse seismic (TLS) which is routinely used to monitor the effects of the exploitation of oil and gas de-

posits.

It is expected, that the mine water table will not be detected directly as an additional reflector of seismic waves, due to the fact, that the impedance contrast between saturated carbonate rock and none saturated rock is too weak. Nevertheless, the reflectivity function of the layers in the underground will change, due to the water saturation process such that it might be possible to observe the rising of the mine water table using the TLS method. To define the requirements for the acquisition instrumentation and for the seismic field geometry extensive seismic modelling was performed to investigate, if it is possible to identify the rising of the mine water table. In a first step the influence of water saturation on the reflectivity and the velocities of seismic waves in carbonate rocks have to be determined. If the mine water table can be monitored, a direct input of the seismic results into a geological model should be possible to forecast critical changes at the surface.

This presentation deals with theoretical aspects of a water saturation of the carbonate rocks. It will be shown, that the water saturation leads to changes in the seismic impedances such that the reflection seismic method could be used to monitor the rising process. The changes due to different water saturation phases were used to calculate theoretical seismic data. On the basis

of theoretical data generated for different depths of the mine water it could be shown, that the mine water table appeared as an additional reflector in seismic difference sections. However, the field parameters and the processing steps need to be adjusted to real field conditions. Using the TLS-method instead of observation drillings the following advantages are expected:

a) With the reflection seismic method the mine water table can be observed along profiles whereas the observation in a drill-hole results in one depth value, only. b) Principally, seismic measurements can be performed anywhere at the earth's surface. Thus, the choice of possible observation locations can be adapted to a given problem. For the drilling of deep boreholes in urban areas the location has to be adapted to the given infrastructure. c) Due to high costs for service and maintenance of deep boreholes, the TLS-method is relative cheap compared to direct observation methods.

Sophia Anferova (ITMC, RWTH Aachen University) , Vladimir Anferov , Elena Talnishnikh , Bernhard Blümich

## On-line NMR Core Scanner

Email: sanferova@mc.rwth-aachen.de

Nuclear Magnetic Resonance (NMR) is an analytical method most sensitive to protons of water, oil, and gas. It has become a valuable tool in Oil Well Logging and Geophysics. A new NMR scanner has been designed and tested for on-line studies of water saturated long cylindrical drill cores. It is used for fast and non-destructive measurements of porosity, pore-size distributions, and estimates of permeability in drill cores with minimal human interaction and without prior preparation. When fitted with software designed for geophysical applications, the NMR core scanner is a suitable tool for rapid well-site analysis of large-size drill cores in a fluid saturated state directly after recovery on drilling platforms and on board of a ship. The NMR scanner consists of a Halbach sensor mounted on a sliding table and driven by a step motor, a controller, and an NMR spectrometer. The sensor contains a magnet and a radio frequency (rf) system for tuning and matching to the resonance at 50 Ohm impedance of the spectrometer. The magnet surrounds the drill core. It has been constructed from identical NdFeB magnets cubes with dimensions 30 x 30 x 30 mm<sup>3</sup> and weights less than 30 kg. It provides a sufficiently homogeneous magnetic field  $B_0 = 0.22$  T, corresponding to a proton (<sup>1</sup>H) resonance frequency of 9.6 MHz. In combination with

exchangeable rf coils, the Halbach magnet is used for studying full cylindrical or split semi-cylindrical drill cores with diameters up to 80 mm. To run the NMR measurements in automatic mode, the Halbach sensor is mounted on the sliding table and moved by the step motor. Long drill cores are placed inside a plastic tube. With the core at rest in the tube, the Halbach sensor is moved under computer control along the tube and hence the drill core, providing the NMR data. The measurement time of each point along the core with porosity higher than few percent is about 30 s depending on the number of scans. The controller synchronizes a measurement process and the magnet movement. The operation of the scanner has been tested by CPMG (Carr, Purcell, Meiboom, Gill) measurements of the transverse magnetization decays at different axial positions along several drill cores. Results are reported and compared with data from conventional measurements.

Marian Hertrich (ETH Zürich) , Ines Rommel , Ugur Yaramanci

## **Topography effects in 2-D magnetic resonance tomography (MRT)**

Email: marian@aug.ig.erdw.ethz.ch

Mapping spatial variations of subsurface water content is an important task in many environmental and engineering geophysical investigations. There are numerous locations at which the hydrogeological conditions can vary over very short distances (e.g. karsts, highly fractured rock). Although conventional geophysical techniques provide much useful information, they all infer the occurrence of water in an indirect manner.

A rapidly developing method that has the potential to provide direct quantitative details on the distribution of water (and possibly also flow-related parameters) is the surface nuclear magnetic resonance (surface NMR) technique [1]. By employing suitable field procedures, including the use of coincident and separate transmitter and receiver loops for improved shallow sensitivity [2], and an appropriate tomographic inversion scheme [3], it is now possible to determine 2-D high-resolution i.e. magnetic resonance tomography (MRT) images of water content from surface nuclear magnetic resonance data. The sensitivity studies and inversion algorithm for our first-generation tomographic scheme were based on flat-earth models and horizontal layering of electrical resistivity. We present here a second-generation tomographic scheme based on a finite element (FEM) approach that accommodates variable topography and la-

teral variations of physical properties.

We demonstrate the influence of topography on the magnetic resonance tomography (MRT) process using thirty-nine separate and coincident loop data sets simulated for a simple dune model. The sensitivity tests reveal that topography has a significant impact on the MRT process; neglecting the effects of slopes with inclinations as small as  $10^\circ$  results in erroneous water -content reconstructions. To examine further the influence of topography, we have conducted a surface NMR survey across a sand dune on the Darss peninsula in the Baltic Sea region and processed and inverted the data sets. Whereas MRT inversion that included topography correctly maps the continuous water table, MRT inversion without topography erroneously predicts a discontinuous water layer, which obviously causes serious misinterpretation of the local hydrogeological conditions.

[1] Legchenko, A., Baltassat, J.-M., Bobachev, A., Martin, C., Robain, H. and Voilamo, J.-M. 2004. Magnetic resonance sounding applied to aquifer characterization. *Ground Water*, 42, 363-373.

[2] Hertrich, M., Braun, M. and Yaramanci, U. 2005. Magnetic resonance soundings with separated transmitter and receiver loops. *Near Surface Geophysics*, 3, 131-144.

[3] Hertrich, M., Braun, M. and Yara-



manci, U. 2005. High resolution 2D inversion of separated loop Magnetic Resonance Sounding (MRS) surveys. Extended Abstracts of EAGE Near Surface Meeting 2005, A021.

Ralf Brauchler (Göttingen/Geoscientific Centre, University of Göttingen) , Peter Dietrich , Rudolf Liedl , Martin Sauter

## **Characterization of strong heterogeneous media using hydraulic travel time tomography**

Email: rbrauch@gwdg.de

Hydraulic tomography is a method allowing the three dimensional spatial identification of hydraulic properties in the subsurface. Such information plays an important role controlling solute movement in saturated flow systems.

We propose a tomographical approach providing the inversion of travel times of pneumatic or hydraulic tests conducted in a tomographical array. The inversion is based on the relation between the peak time of a recorded transient pressure curve and the diffusivity of the geological medium. The development of a transformation factor enables the inversion of further travel times besides the peak time of a transient curve. It can be assumed that early travel times are dominated by preferential flow, while the inversion results based on late travel times are reflect an integral over many flow paths. Furthermore, the similarity of the proposed hydraulic tomographic approach to seismic travel time tomography allows to apply the inversion algorithms which are used for seismic tomography.

In the first step, we have applied the methodology to laboratory data from a set of crosswell pressure tests conducted in a unsaturated fractured sandstone cylinder with a height of 34cm and a diameter of

31cm. The three-dimensional reconstructions of diffusivity distributions are found to be highly reliable and robust. In particular the mapped fracture of the sandstone cylinder coincides with our reconstructed diffusivity distributions. In the second step, we have further developed our approach focusing on the reduction of ambiguity of our reconstructed diffusivity tomograms. Therefore we have applied an inversion strategy comprising the method of staggered grids and the usage of data subsets with specified ray angles. The inversion strategy was tested using synthetic data sets. The results have demonstrated that both techniques improve the resolution considerably. Finally, we present a field assessment of hydraulic tomography at a well-characterized shallow sand and gravel aquifer located in the Leine River valley near Goettingen, Germany. The data base for the inversion consists of a large number of cross-hole slug tests performed between two wells in a tomographical array. It was possible to reconstruct a 2-D diffusivity tomogram with a resolution of  $0.0225m^2$ .

The results of our study clearly demonstrates that our travel time based hydraulic tomographic inversion approach is particular well suited for providing information about the structure and spatial variability of

hydraulic properties of an aquifer between wells, which is a prerequisite for prediction of contaminant transport.

Reinhard Kirsch (Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein) , BurVal working group

## **Geophysical mapping of buried valley aquifer systems: internal structure and vulnerability**

Email: rkirsch@lanu.landsh.de

Due to subglacial erosion during the ice ages deep valleys are carved down to 400 m into the Tertiary underground of the North European Sedimentation Basin. These valleys are several km wide and stretch over distances up to 100 km. Refilled with glacial material (sand and till), the valleys can have complicated internal structures. But if sandy material is dominating as valley fill, the valley hosts important groundwater reservoirs which are increasingly used for water supply.

Targets for geophysical exploration of buried valleys are: 1) localisation and lateral extent (the valley is not visible at the surface), 2) shape and depth extent, 3) composition of the valley fill in terms of aquifers and impermeable layers, 4) structure of the covering layers in order to quantify the aquifer vulnerability.

Within the INTERREG-project BurVal six buried valleys in Denmark, Northern Germany and the Netherlands were intensively investigated with geophysical and hydrogeological methods. This methods include reflection seismic, gravimetry, ground based resistivity and airborne electromagnetic methods (time- and frequency domain). Fieldworks and data interpretations were carried out by GEUS (Geological Survey of Denmark and Greenland, Copenha-

gen), University of Aarhus, University of Kiel, BGR, GGA-Leibnitz Institute of Applied Geosciences (both Hannover), TNO (Geological Survey of the Netherlands, Utrecht) and some private contractors. Combined with drilling results, the geophysical results were used to construct geological models of the valley which can be used for groundwater modelling.

The combined use of seismic, electromagnetic and gravity results to map the internal structure of buried valleys is shown in this contribution. Moreover, different approaches to quantify the vulnerability of the aquifers are discussed.

Thies Beilecke (Leibniz Institute for Applied Geosciences) , Ulrich Polom , Sven Hoffmann , Stefan Cramm , Walter Rode

## **Hydrogeophysical Investigations of Shallow Structures with Shear Waves Under Sealed Urban Conditions**

Email: [thies.beilecke@gga-hannover.de](mailto:thies.beilecke@gga-hannover.de)

Chemical pollutant distributions are often different from geological expectation because of an unknown or low resolved aquifer model, e.g., if only a few drill-holes exist. The knowledge of the topographic roughness of the aquifer base and the distribution of highly permeable gravel layers plays a major role in a pollution plume evolution forecast and could help define counter-measures for possible future pollution cases.

Often, polluted areas are located within urban environments, which challenges many geophysical methods in terms of limited site access or man-made noise. For high resolution seismic subsurface structure imaging in sealed urban environments, associated traffic, and subsurface supply lines are traditionally expected method application limitations. However, at a closer look some of the expected limitations turn out to be advantages if shear waves are used instead of compressional waves.

In 2006, a survey was carried out in Hannover, Germany, using a combination of a small shear wave vibrator with a shear wave land-streamer as a tool for seismic reflection measurements in cities. The used Sh-shear wave reflection exploration setup proved to allow for a comparably fast and trouble-free measurement progress. Al-

so, the inherent advantages of sealed terrain with respect to the absence of surface waves of the Love type and in terms of uniform geophone coupling has become apparent. In the shallow subsurface the structure resolution of shear waves compared to compressional waves can reach a factor of around 10.

Seismic sections of different geometry exhibit different amplitude spectrum variations with respect to source – receiver offset. Whereas high frequency portions of the spectrum decay with offset in surface reflection geometry, data recorded in VSP-geometry do not show such a simple relation. Reasons for this will need to be analyzed for future method improvement.

Niklas Linde (ETH-Zurich, Institute of Geophysics) , Damien Jougnot , André Revil

## Understanding self-potentials in the vadose zone

Email: [linde@aug.ig.erdw.ethz.ch](mailto:linde@aug.ig.erdw.ethz.ch)

The self-potential (SP) method has been employed for many purposes, including mineral prospecting, monitoring of volcanic activity and mapping contamination plumes and the water table. Potentially, it can be used to investigate vadose zone processes, but prior studies have been limited by our incomplete understanding of electrokinetic coupling under partially saturated conditions.

In this contribution, we extend the governing equation that describes electrokinetic SP generation under saturated conditions to include unsaturated conditions. This model predicts that the voltage coupling coefficient is linearly dependent on the relative permeability function and the voltage coupling coefficient at saturation, whereas it is inversely dependent on water saturation and the relative decrease of bulk electrical conductivity compared to the bulk electrical conductivity at saturation. We also propose an alternative formulation in which streaming currents are linearly dependent on the effective pore-water velocity. This formulation illustrates that SP signals in the vadose zone are generated by current sources located where there is a divergence of the pore-water velocity, porosity gradients and/or lithological boundaries.

This new formulation has been implemented in the iTOUGH2 hydrogeological modeling code. We have used outflow data

and data from ten tensiometers to monitor drainage from an initially water-saturated sand column. These data were used to calibrate parameters of the relative permeability and capillary pressure functions. The calibrated model was used to simulate the SP responses during the experiment. These responses corresponded well with SP data collected using 17 non-polarizing Ag/AgCl electrodes. The RMS misfit between the simulated and observed SP signals was 0.125 mV and the observed SP signals ranged between -1.2 and 0 mV.

Can the SP method provide useful information in studies of the vadose zone? A typical hydrogeological model of the vadose zone contains a dynamic water viscosity, initial water saturations and solute concentrations that can be transformed to electrical conductivities of the pore water. It also includes a permeability, a relative permeability function, a capillary pressure function, a porosity, and sink/source terms at all points. The model can be used to simulate the effective water saturation, the pore water velocity and the electrical conductivity of the pore water at all points and times of interest. To use SP data to constrain hydrogeological model parameters, it is necessary to have (i) a petrophysical model that relates bulk electrical conductivity to water saturation and (ii) a voltage coupling coefficient for saturated conditions at all points. Uncer-

tainties regarding the electrical parameters can be incorporated by increasing the standard deviations of the observed SP data and thereby decreasing their weight in the subsequent hydrogeological inversion. It is likely that the SP method will provide limited information about vadose zone dynamics at locations where no in situ measurements of the electrical properties are available.

Jan van der Kruk (ETH Zurich) , Robert W. Jacob

## **Inversion of dispersive GPR data recorded across precipitation-induced waveguides**

Email: [jvdkruk@aug.ig.erdw.ethz.ch](mailto:jvdkruk@aug.ig.erdw.ethz.ch)

Dispersed Rayleigh waves commonly recorded in multichannel seismic data are now regularly inverted to provide information on subsurface material properties. After transforming the dispersed waveforms from the time-distance domain to the phase-velocity-frequency domain, the optimum phase velocity versus frequency curve is picked. The picked dispersion curve is then inverted for a layered subsurface model; inversion involves adjusting the model parameters until the difference between the picked dispersion curve and the model-predicted dispersion curve is minimized.

Dispersed ground penetrating radar (GPR) waves, which are less frequently observed than dispersed seismic waves, also contain important information about the subsurface. An electromagnetic waveguide consists of a high permittivity layer sandwiched between two layers of lower permittivity (e.g., a high-permittivity soil overlying a layer of low-permittivity dry sand or gravel). The ground-air and lower interface of the high-permittivity waveguide are total reflectors for waves incident beyond the respective critical angles. Consequently, the radar energy is multiply reflected within the waveguide layer, resulting in a series of interfering multiples that manifest themselves as a package of dispersed waves. Recently,

techniques for inverting dispersed waveforms in transverse electric (TE, broadside) and transverse magnetic (TM, endfire) GPR data have been developed. These techniques provide information on the thickness and permittivity of the waveguide and the permittivity of the underlying layer [1, 2].

Here, we show that a waveguide develops after a significant precipitation event soaks a dry surface layer. The newly wet surface layer has a higher relative permittivity and associated lower velocity than the immediately underlying dry material. TE and TM data collected after the rainfall show clear dispersion. A joint inversion of the TE and TM fundamental modes provides more reliable estimates of the medium parameters than separate inversions. Analysis of another GPR data set collected after the soaking of an existing wet layer show the presence of 4 TE and 4 TM modes. Including higher order modes in the joint TE-TM inversion resulted in better constrained models than fundamental mode inversion.

[1] van der Kruk, J., Streich, R. Green, A.G., 2006, Properties of surface waveguides derived from separate and joint inversion of dispersive TE and TM GPR data, *Geophysics*, Vol. 71, No. 1, K19-K29.

[2] van der Kruk, J., 2006, Properties of surface waveguides derived from inversion



of fundamental and higher mode dispersive GPR data, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 44, No. 10, 2908-2915.

Martina Braun (Technische Universität Berlin) , Ugur Yaramanci

## **Determining resistivity and water content from magnetic resonance sounding: Assessment of sensitivities, synthetic and field data**

Email: [martina.braun@tu-berlin.de](mailto:martina.braun@tu-berlin.de)

The magnetic resonance sounding (MRS) or surface nuclear magnetic resonance (SNMR) method is used for groundwater exploration and aquifer characterization. MRS provides useful information about water content and hydraulic conductivity of the aquifer [1].

The excitation field of the NMR experiment is generated by a transmitter loop placed on the surface. Due to the electromagnetic attenuation, the magnetic excitation field depends on the resistivity of the subsurface. Therefore, the resistivity has to be taken into account when inverting the MRS data. Neglecting the resistivity yields a biased water content distribution of the inversion [2]. The used resistivity information can be given by a priori information or, as newly introduced in the used inversion scheme, it can be obtained during the inversion process [3].

Considering a transmitter/receiver loop with a diameter of 100 m, the sensitivities of amplitude and phase converge to zero for resistivities greater than 100  $\Omega\text{m}$ . Therefore, a subsurface structure with a low resistive aquifer (e.g. 5  $\Omega\text{m}$ ) can be more reliably reconstructed compared to a subsurface structure with a high resistive (e.g. 500  $\Omega\text{m}$ ) aquifer.

The successful implementation of the inversion for field data shows that the resi-

stivities derived from MRS are comparable to those from conventional geoelectric methods such as DC resistivity and transient electromagnetic. Therefore, there are no supplementary geoelectrical measurements actually needed when using MRS.

Having also the resistivity along with the water content distribution as inversion result, MRS gives an information about the salinity of the aquifer and thereby, the quality of the aquifer can be estimated. This is of outmost interest for the further hydrogeological interpretation. This specific information cannot be achieved by geoelectrics alone, because of the nonuniqueness in resistivity concerning water content and salinity.

[1] Yaramanci, U., Hertrich, M., 2006. Magnetic Resonance Sounding. In: (Ed. Kirsch, R.) Groundwater Geophysics. Springer-Verlag, 253-274.

[2] Braun, M., Yaramanci, U., 2003. Inversions of Surface-NMR signals using complex kernels. Proceedings of 9th European Meeting Environmental and Engineering Geophysics, O-049.

[3] Braun, M., Yaramanci, U., 2006. 1D inversion of resistivity and water content of Magnetic Resonance Sounding. Proceedings of 12th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, P016.

Peter Dietrich (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ) , Carsten Leven , Ulrike Werban , Georg Teutsch

## **Research Platform MOSAIC (Model-Driven Site Assessment, Information & Control)**

Email: [ulrike.werban@ufz.de](mailto:ulrike.werban@ufz.de)

A detailed knowledge of subsurface structures (including geometry and relevant parameters) and processes is an important prerequisite for the understanding and the solution of different environmental and hydrogeological problems. Problem examples include - but are not limited to - the management of water resources, the management of contaminated megasites, and the geotechnical evaluation of building ground.

Commonly, boreholes and geophysical surface measurements are used for subsurface investigations. In case of boreholes, information can be obtained from cores and geophysical logging. Typically, borehole data have high vertical resolutions, but suffer from a lack of information in lateral directions between the boreholes. This gap can be bridged by the application of geophysical surface measurements which can provide horizontally continuous information. However, due to physical reasons, the vertical resolution of surface methods decreases with depth. A further possibility for the exploration of sites is the use of Direct Push (DP) technology. This technology refers to a growing family of tools used for performing subsurface investigation by pushing and/or hammering small-diameter hollow steel rods into the ground allowing the acquisition of vertical profiles with

a high resolution up to depth of 50 m. For a satisfying geological and/or geotechnical, and cost-effective exploration of the subsurface, a combination of the different methods is necessary.

With the aim to combine the different methods for a problem-oriented, rapid site characterization, the Helmholtz-Centre for Environmental Research - UFZ creates the new research platform MOSAIC (Model-Driven Site Assessment, Information & Control). The platform comprises mobile modular data acquisition units for adaptive and modeling-based field investigations. It contains vehicles equipped with direct push probing devices in combination with geophysical measuring techniques, borehole logging, hydrogeological and geotechnical equipment. MOSAIC should be applicable for a high resolution 3D characterization of the shallow subsurface of sites with a size of up to square kilometers. With this aim and instrumentation, MOSAIC offers new possibilities for research on exploration and monitoring techniques. Examples are the combination of methods with different spatial resolution and dimension of investigation, development, and evaluation of adaptive problem-oriented site investigation strategies as well as of new exploration/monitoring methods, and the develop-

ment of effective methods for the determination of site specific rock parameter relationships.

Koen Kooper (University Utrecht, the Netherlands) , Evert Slob , Sébastien Lambot

## **Incorporating near surface layering for improved surface water content estimates**

Email: [k.kooper@students.uu.nl](mailto:k.kooper@students.uu.nl)

Knowledge of soil water content is important in environmental, agricultural and hydrological engineering, because soil water has a strong influence on groundwater flow and pollutant transfer. An important challenge in this research area is to find an efficient way to estimate the surface water content in the upper few centimeters of the soil. Existing methods used for soil water characterization are often invasive and time-consuming or give unsatisfactory results. We have developed a fast and non-invasive method in which Ground Penetrating Radar (GPR) is used for identifying soil electric properties that can describe the soil water content. Contrary to most GPR surveys that use only part of the signal (often only travel time), this method makes use of the complete signal. The Green's function for electromagnetic waves in multi-layered media is known in theory. It depends on soil electric properties permittivity and conductivity and to a far lesser extent on magnetic permeability. The 'measured' Green's function can be obtained from frequency domain GPR measurements in the field, by correcting for GPR antenna influences and antenna-soil interaction. In this research, the subsurface is parameterized by a few centimeter thick layer sandwiched between air and an assumed homogeneous lower half space. The thick-

ness of the top layer, as well as the conductivity and permittivity of both subsurface layers and antenna height make up the 6 unknown parameters. Particularly in sandy soils, this is a realistic approximation of the very shallow subsurface, where water content in the first few centimeters of the subsurface is often distinct from the water content below it. The relationship between soil electric properties and the theoretical Green's function can be used in an inversion scheme to retrieve the 6 parameters from a measured Green's function. The retrieved parameters can be converted to water content through petrophysical relationships. Because the problem is nonlinear with many local minima, a global optimization method is applied first. Two global optimization methods are tested for their convergence properties, a Genetic Algorithm (GA) and a global multi-coordinate search (GMCS). For the GA, several of the best models throughout the model space, are selected from the end population and subsequently, a local Nelder-Mead simplex (NMS) algorithm is applied to the selected models. The models are iteratively adjusted until the errors are reduced to a local minimum for each start model. The final model, with the lowest error, is considered as the solution. For the GMCS method, only the best solution is selected and a local NMS search

is performed from here. The methods are tested on error free synthetic data, which are generated by computing the theoretical Green's function, for certain values of the parameters. The procedure is repeated for 260 different synthetic models. The synthetic data are generated in the frequency range 800-200 MHz, which is the range of the GPR antenna used in previous studies on GPR full waveform inversion. The inversion procedures both work for the synthetic models. Convergence to a good solution, close to the synthetic input, occurs for respectively 81 (GA) and 68 (MCS) synthetic models. The other inversions retrieved an erroneous local minimum. Because successful inversions occurred independent of the characteristics of the synthetic model, it is certain that the inversion methods can achieve good convergence for all synthetic models when certain inversion parameters (i.e. number of iterations) are altered. Uniqueness problems are also addressed. Dielectric permittivity of both layers and antenna height are perfectly retrieved for all successful inversions. The data are less sensitive to layer thickness and especially conductivity. The average error in thin layer estimation is 10%, for conductivity it is 50 – 200%. It is noteworthy that a thin layer thickness smaller than one quarter of the wavelength in the most of the employed frequency bandwidth can be retrieved with relatively good accuracy. Synthetic data are also produced in a broader frequency range (200-2000 MHz), which is the range of a new GPR antenna to be used. For these data, the errors on retrieved conductivity are significantly decreased. The inversion results on the modelled data are promising for field data inversion.

Jürgen Schmalholz (TU Berlin) , Ugur Yaramanci

## **Georadar methods for improved small-scale soil moisture assessment**

Email: schmalholz@geophysik.tu-berlin.de

Due to the strong dependence of the soil's relative permittivity to its volumetric water content the georadar (ground penetrating radar (GPR)) gains more and more importance in the field of moisture determination [1]. Featuring a non invasive measurement layout, the georadar is especially suited for use on sites intended to remain undisturbed. Such investigations often aim to detect small scale heterogeneities and/or short respectively long term monitoring experiments. Spatial resolution in the range of few meters can be achieved easily with standard georadar applications. But due to the integral averaging character of the georadar technique spatial resolutions in the range of 0.1 - 0.3 m remain a challenging task. Three promising georadar applications are introduced to achieve local accuracies in the range of few decimeters [2].

Reflection method with diffraction velocity analysis: By performing a constant offset (CO) measurement small objects of differing electrical properties appear as diffraction hyperbolas in the recorded radar section. Analyzing the shape of recorded diffraction hyperbola information of the objects location and the propagation velocity of the overlying soil can be achieved. Combining the velocity data of several diffraction events a 2D soil moisture distribution can be deduced.

Ground wave method: Utilizing the ground

wave of the georadar, a wave travelling from transmitter to receiver along the interface air to soil inside the soil, is an established method for shallow soil moisture assessment. Performing a CO inline measurement with measurement intervals smaller than the antenna offset, soil sectors are traversed multiple times, similar to tomographic measurements. By applying a travel time inversion spatial allocation as well as true relative permittivity values of the soil sectors are acquired.

Radar Based - Time Domain Reflectometry (RB-TDR): Due to the absence of distinct interfaces in the uppermost soil (0 - 1 m depth) standard georadar methods cannot provide high resolution vertical soil moisture distributions. Utilizing travel time data along a metal rod inserted vertically into the soil next to a georadar antenna, information of the electrical properties of the soil in the vicinity of the rod can be acquired. By gradually inserting the rod deeper into the soil vertical soil moisture profiling is possible.

All three methods were applied at the same site to evaluate their potential and accuracy compared to standard applications such as TDR or soil sampling. Due to the different but interlacing sampling regions of the three introduced georadar methods a more detailed and improved site description is possible. Applying the introduced georadar methods repeatability of each measurement in

the range of few minutes is achievable, additionally [2].

References:

[1] Schmalholz, J., Müller, M., Yaramanci, U., Kemna, A., Stoffregen, H., 2004. Small Scale Determination of Volumetric Water Content Distribution in the Uppermost Soil, Proceedings of the Tenth International Conference on Ground Penetrating Radar, p 489-492.

[2] Schmalholz, J., Kemna, A., Müller, M., Stoffregen, H., Yaramanci, U., 2004. Soil Moisture Dynamics with Time Lapse GPR, 10th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, A 026.



Ursula Noell (Federal Institute for Geosciences and Natural Resources) , Thomas Günther , Christoph Grisseemann , Markus Furché

## **Time Lapse Resistivity Tomography: Comparison of Different Methods**

Email: ursula.noell@bgr.de

The resistivity of porous sediments depends on saturation, pore fluid resistivity, tortuosity, cation exchange capacity, temperature and most likely some more physical and chemical characteristics of the sediments. Assuming that many of the above properties remain constant during an experiment, time lapse interpretations are used to enable us to study the change in one parameter, for example the saturation. The spatial heterogeneity of the infiltration plume, however, that can be resolved by time lapse interpretation procedures depends critically on the used inversion methods.

2D and 3D-Resistivity inversion algorithms solve ill-posed problems. To get stable solutions different types of constraints for the model are introduced. The smoothness constraint (Occam inversion) is most popular. The resulting model is the smoothest of all models that fit the data within the noise level as defined by the constraint-matrix. The regularisation parameter is an additional unknown, yielding more structured models if chosen quite small. If the area of investigation is heterogeneous in terms of resistivity the smooth inversion leads to a more or less smooth model of the heterogeneous reality. If preferential pathways exist, smooth inversion strategies tend not to see them.

The adoption of a minimum length con-

straint matrix enables the resolution of smaller structures like preferential pathways but often leads to models with unrealistic artefacts. Model studies show that in a relatively homogeneous area in terms of resistivity smooth inversion strategies do not resolve preferential pathways while inversions with minimum length constraints do so and the artefacts when looking at the model differences are minor. As more heterogeneous the subsurface as stronger are the artefacts. The smoothness constraints avoid the artefacts but hides preferential pathways. Therefore, it is suggested to artificially introduce the observed apparent resistivity changes into a more or less homogeneous model. Model studies and the interpretation of field measurements show that by application of this method small scale infiltration structures can be resolved.

Seho Hwang (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources) , Jehyun Shin , Inhwa Park , Kue-young Kim , Kwon Gyu Park , Ki Hwa Park

## **Geophysical well logging and multi-level electrical conductivity and temperature monitoring for evaluating seawater intrusion in basaltic Jeju Island, Korea**

Email: hwangse@kigam.re.kr

Jeju, located in the southern extremity of Korea, is volcanic island, and consists of extensive basaltic lava flows, hundreds of scoria cones, and hydrovolcanic eruptions, and also is well known as one of resorts in Korea. Jeju Island came into existence 700 to 1,200 thousand years ago, and the final volcanic eruption took place approximately 25 thousand years ago. Groundwater resource is the main supply in Jeju Island, so Jeju Province had enacted the laws in order to develop and manage sustainable groundwater resources, and operates the monitoring wells for seawater intrusion problems in the coastal area. Various geophysical well loggings, including radioactive logs, electrical log (or induction log), caliper log, fluid temperature and conductivity log, and heat-pulse flowmeter log, have been conducted in 29 monitoring wells to identify basalt sequences, and characterize seawater intrusion problem of eastern coast. Long-term multi-level electrical conductivity and temperature monitoring also performed to characterize seawater intrusion. Monitoring wells are located from seashore into inland with several kilometers distance, and the depth of drilling is about 150 m below the sea level. Lithologies identified from drill cores are trachybasalt, acicular basalt, sco-

ria, hyalocastite, tuff, sediments, unconsolidated formation such as U formation, seoguipo formation and so on. The results of geophysical well loggings to the saturated formations are interesting and consistent. Natural gamma logs are useful in verifying basalt sequences if sedimentary interbeds or unconsolidated formations with higher natural gamma log exists. Neutron and electrical logs are very effective to discriminate among individual lava flows, flow breaks, and sedimentary interbeds in saturated formation. In hyalocastite and clinker, porosity is high and resistivity is low. We have used also the fluid temperature, conductivity log, and heat-pulse flowmeter log to interpret the permeable zone and characterize seawater intrusion of eastern coast. The conductivity logs clearly show the fresh water-saline water boundaries, but we find it hard to identify the permeable zones because of mixing the groundwater within the boreholes. Variations of temperature are mostly related with lithology boundaries and cavity intersected by boreholes of eastern coasts. It is verified that the variation of electrical conductivity and temperature by long-term multi-level monitoring in the eastern area has been simultaneously affected by rainfall and tide. The wide range of electrical

conductivity in the deeper depth of monitoring boreholes well corresponds to the results of periodic electrical conductivity loggings, and these data indicates the possibility of submarine groundwater discharge. From the various well logs and long-term monitoring data, we have concluded that seawater intrusion occurs about 6 km from seaside, and seawater intrusion is related to permeable basalt and the spatial distribution for sediments beneath tuff.

Andreas Hördt (TU Braunschweig) , Anthony uiventak , Roland Blaschek , Franz Binot , Andreas Kemna , Norbert Zisser

## **Case histories of hydraulic conductivity estimation with Induced Polarisation at the field scale**

Email: a.hoerdt@tu-bs.de

Hydraulic conductivity is an essential parameter for groundwater management and for estimation of aquifer vulnerability. Standard hydrogeological methods, such as pump tests and grain size distribution analysis, either average over a large volume or provide information only in the vicinity of boreholes. Estimation of hydraulic conductivity with geophysical methods might be based on DC resistivity. However, there are two competing effects: electrical conductivity of unconsolidated sediments increases both with specific inner surface area and porosity, and thus a unique relationship with hydraulic conductivity does not exist.

Spectral induced polarisation (SIP) measures the complex-frequency-dependent electrical conductivity. Physical considerations and laboratory measurements support the idea that the imaginary part of conductivity mainly depends on the specific inner surface area, and much less on groundwater conductivity and porosity. Thus, empirical relationships between hydraulic and complex electrical conductivity have been derived from laboratory experiments.

Here, we show case histories from four selected sites: Krauthausen near Juelich, Cuxhaven-Luedingworth, Kappelen/Switzerland and Hasloh near Norderstedt. These areas cover a litholo-

gical spectrum from gravel to silt, with a variation in hydraulic conductivity ( $k$ ) over three orders of magnitude. At each site, hydraulic conductivity was estimated from the real and imaginary conductivity resulting from 2-D inversion. We used the constant phase model, where only one frequency, typically around 1 Hz, is used. For the purpose of this study, data from each area were reduced to about 2-3 values only. The IP-determined values are systematically too large when compared to data from grain size analysis or pump tests. For a more detailed investigation, real and imaginary conductivity were displayed vs. hydrogeologically determined  $k$ -values. Remarkably, the correlation between the real part and  $k$  is better than the correlation of the imaginary conductivity. Thus, the hypothesis that the imaginary part improves hydraulic conductivity estimation is not supported by our data.

Notwithstanding the limited amount of data, our results suggest that existing models with their partly simplifying assumptions might have to be modified and extended before they lead to substantial improvements when routinely applied at the field scale. Also, it might be crucial to expand the usable frequency range to estimate one or more decay constants from a broad spec-

trum.

Johannes Köstel (ICG-IV, FZ-Jülich) , Andreas Kemna , Mathieu Javaux , Andrew Binley , Harry Vereecken

## **Characterization of solute transport at different unsaturated flow states in an undisturbed soil monolith using time-lapse electrical resistivity tomography**

Email: j.koestel@fz-juelich.de

Water flow and solute transport paths in the unsaturated zone are subject to soil structure. Furthermore, for different boundary conditions, different transport patterns may result depending on given soil heterogeneity. Electrical resistivity tomography (ERT) is known to be able to non-invasively image processes if state variables associated with the process give rise to electrical contrasts. In the vadose zone, the interpretation of such images is hampered by the fact that bulk electrical conductivity is largely determined by two different state variables: water content and solute concentration. However, under steady-state flow conditions, changes in bulk electrical conductivity can be directly related to changes in solute concentration. In this way, spatially and temporally highly resolved information on the solute transport process is obtained, which can be analyzed with respect to soil structure and flow rate. In this study we monitored the spatio-temporal evolution of a  $CaCl_2$  solute plume under steady-state unsaturated flow conditions, as a result of constant irrigation, in an undisturbed soil monolith with time-lapse ERT.  $Cl^-$  was used as an inert tracer with positive electrical conductivity contrast. The experiment was performed for two different irrigation

rates: 15 mm/d and 65 mm/d, corresponding to app. 15% and 55% of the averaged hydraulic conductivity of the soil column. The ERT data were inverted with a three dimensional, smoothness-constrained inversion algorithm based on finite-element modelling, yielding an ERT derived tracer breakthrough curve (BTC) for each voxel of the inversion grid. A one-dimensional convection-dispersion equation was fitted to the individual voxel BTCs – following a stream-tube conceptualization of the transport process – in order to quantify effective transport parameters with spatial resolution. The analysis revealed regions with contrasting effective transport velocities. For both irrigation rates (i.e., flow states), the distribution of regions with high and low transport velocity is similar. In particular, the revealed patterns coincide with structural patterns in the top plough layer of the soil monolith, which suggests that the macrostructure within the plough layer has significant influence on the transport in the soil below. However, in addition to this general pattern, differences in the transport characteristics for the two flow regimes can be observed.

Marco Naujoks (FSU Jena) , Corinna Kroner , Thomas Jahr , Peter Krause , Adelheid Weise

## **Observation of time-dependent gravity variations and gravimetric 3D modelling: A new tool in the evaluation of small-scale hydrological models**

Email: [m.naujoks@uni-jena.de](mailto:m.naujoks@uni-jena.de)

Hydrological variations and their underlying processes became an important focus of scientific interest in the last years. On the one hand they represent a significant, broadband disturbance in geodynamic observations, particularly in records of superconducting gravimeters. They need to be eliminated in order to be able to detect small geodynamic signals like core modes or coseismic changes. On the other hand variations in the temporal and spatial distribution of water are an essential factor in many processes. Gravity data, in particular areal gravity measurements, contain integral information about hydrological mass shifts in the subsoil. Hence, gravity data can be a valuable supplement to meteorological and hydrological observations.

Studies were carried out exemplarily for the area of the Geodynamic Observatory Moxa, Germany, which is situated in a small headwater catchment in hilly topography. In addition to the recordings with a superconducting gravimeter, repeated gravity measurements at 6 points of a local network were made with four to five selected and well calibrated LCR field gravimeters. Measurements were carried out according to seasons as well as to particular hydrological events (e.g. during snowmelt or longer dryness). The gravity differences between the observation points we-

re determined by triangulation. Each difference was measured at least five times with each gravimeter in 15 two or three day campaigns so far, with approx. 250 measured gravity differences for each campaign. Thus, fairly small standard deviations could be obtained ranging between 8 and 14  $\text{nm/s}^2$  for one gravity difference and between 6 and 9  $\text{nm/s}^2$  for one observation point. From these observations significant time-dependent changes in the gravity differences of up to 139  $\text{nm/s}^2$  could be derived which are associated with variations in the local water mass distribution. Furthermore, hydrologically active areas could be identified. It turned out that in particular a steep slope next to the superconducting gravimeter has a crucial influence.

To understand the hydrologically caused gravity variations and to evaluate existing hydrological models, a gravimetric 3D model of the observatory surroundings was developed, including geology and hydrology-related structures. Time-dependent density variations, derived from hydrological observations and modelling, are introduced into the gravimetric model as density changes of the bodies. The resulting gravity effect is compared to the results of the repeated gravity measurements and to the observations with the superconducting gravimeter. By modification of the input of the gravi-

metric model it is possible to show, in which areas and with which amplitude hydrological variations ought to appear in order to explain the observed gravity variations.



Jens Tronicke (Institute of Geosciences, University of Potsdam) , Carsten Leven , Hendrik Paasche

## **Integrating hydrogeophysical data: a comparison of selected techniques**

Email: jens@geo.uni-potsdam.de

In the past decade, it has been recognized that a detailed and reliable characterization of aquifers can not be achieved by using single selected techniques neither from hydrogeology nor geophysics. For example, consider the development of a contaminant plume in a sedimentary aquifer. To accurately predict the spatial and temporal evolution of the plume, we require detailed information on aquifer architecture and the hydrogeological parameters governing flow and transport processes (e.g., porosity and hydraulic conductivity). Traditional hydrogeological approaches are usually based on core and logging data or tracer and pumping tests. On the one hand, borehole studies provide a centimeter-to-decimeter-range resolution in the vertical direction, but the spacings between boreholes are typically too large to allow for meaningful lateral interpolations of such local 1-D measurements. On the other hand, commonly applied tracer and pumping tests tend to capture averaged properties of the probed region. This gap in spatial coverage and resolution can be closed by performing adequate 2-D/3-D geophysical experiments. However, in practice, no geophysical method estimates hydraulic permeability or porosity structure directly and the reliable petrophysical translation of geophysical parameters and structures into meaningful distributions of

the needed hydrogeological parameters remains a challenging task. Thus, spatial geophysical information can be used to complement hydrogeological methods. However, a quantitative integration of a typical diverse hydrogeophysical database is one of the major challenges in the field of high-resolution hydrogeophysics. The different scales of involved measurements and the usually weak petrophysical relations among the measurements complicate the integration process and, therefore, most developed approaches are based on statistical or stochastic concepts. In this study, we investigate some recently developed integration approaches based on cluster analyses and stochastic simulation in more detail and compare them among each other. For this evaluation and comparison, we have generated a 2-D realization of a heterogeneous sedimentary aquifer. On the basis of this model, we have simulated different hydrogeophysical data sets (e.g., crosshole georadar and seismic, porosity logs). The resulting data and models, respectively, are used to characterize our aquifer realization; i.e., we use various data and data combinations to generate models of the synthetic aquifer and perform groundwater flow and transport simulations so that we can compare the different characterization approaches in terms of the hydraulic model response. Our results sug-

gest that spatial geophysical information is critical for an accurate characterization as it would be needed, for example, to reliably predict the spatial and temporal evolution of a contaminant plume in a sedimentary aquifer.

Gerhard Zacher (BAM) , Bülent Tezkan , Ernst Niederleithinger , Tina Martin

## **Radiomagnetotelluric (RMT) investigation of a levee - in comparison**

Email: gerhard.zacher@bam.de

In the frame of DEISTRUKT, a project funded by BMBF, several geophysical non-destructive methods for structural investigation and flaw detection of river embankments are evaluated. Important aims are the improvement and acceleration of conventional inspection by drilling and sampling. Geophysics is used on levees since several decades, but there is a lack of a unified approach, method catalogue and guidelines.

In this paper we'd like to focus on the results derived from radiomagnetotelluric (RMT) measurements carried out by the institute of geophysics and meteorology (IGM) of the university Cologne in collaboration with the federal institute for materials research and testing (BAM). The RMT method is relatively new in geophysics and not widely known even in geophysical communities despite its undeniable strength in variable fields of application. It uses the electromagnetic response from the subsurface induced by signals from radio stations in the frequency range from 10 to 1000 kHz. Due to the penetration depth of the used electromagnetic fields this method can resolve the subsurface in a depth of 1 - 50 m, depending on the electrical resistivity of the sediments.

Several RMT profiles have been measured on two particular areas on a levee along the river Mulde near Bitterfeld/Germany with two different types of instrumentation. We're not only able to show a comparison

of the results of both devices, but also additional geophysical and geotechnical data (e.g. spectral induced polarization (SIP), direct push). The RMT data is interpreted by means of state of the art two-dimensional (2D) inversion.

The RMT results show on one hand inhomogeneities in the levee structure, on the other geological variations in the underlying layers. They are in good correlation to the other methods of investigation.

Of course every of those differing methods has its own advantages and disadvantages. Therefore a combination of more than one method can often provide more detailed information of the subsurface and enhance the quality of geological, hydrological and geotechnical models.

Christoph Oberdörster (ICG-4, Agrosphäre, Forschungszentrum Jülich) , Jan Vanderborght , Andreas Kemna , Harry Vereecken

## Consideration of Different Error Sources Influencing the Derivation of Bulk Soil Electrical Conductivity Distributions with Electrical Resistivity Tomography

Email: c.oberdoerster@fz-juelich.de

One widely adopted instrument for characterizing the vadose zone is Electrical Resistivity Tomography (ERT). Although it is theoretically possible to collect data in a high precision of around 1 %, several authors describe a considerable discrepancy between soil water contents measured by ERT and measured by reference methods. One physical reason is given by the fact that ERT based water contents are derived from the bulk soil electrical conductivity,  $\sigma_b$ . Uncertainty about this relationship is propagated in the water content estimates. Another source of uncertainty comes from the inversion process itself, which is ill-posed, so that the results can explain the distribution of true resistivities only to a certain degree. In this study, we concentrate on the latter issue by comparing ERT derived distributions of bulk soil electrical conductivity,  $\sigma_b$ , with TDR based data, which were assumed to be reliable. Since the  $\sigma_b$  distribution that is inverted from ERT data is highly dependent on the choice of the error model used in the inversion procedure, we focussed on the determination of an appropriate error model. We derived the error model from a statistical analysis of normal and reciprocal ERT measurements, which theoretically should be identical. A time series of ERT

measurements was inverted using this kind of error model. Comparing the results with TDR data, a high variability in ERT based  $\sigma_b$  was prominent. To clarify the effect of the measurement error on the uncertainty of ERT derived  $\sigma_b$ , synthetic datasets were produced and the  $\sigma_b$  uncertainty was estimated using a Monte Carlo approach. The synthetic ERT datasets were derived using forward simulations in two layered  $\sigma_b$  profiles, which were based on TDR measurements. One was taken during a dry spell and one after long-lasting rainfall events. Noise was added to the simulated datasets according to a realistic error model and the produced datasets were subsequently inverted. The noise model was based on analyses of the normal-reciprocal measurement errors, which were found to be related to the geometry of the electrode pairs. The final outcome of this study is the importance of correct estimated data errors for ERT data inversion and for the interpretation of the inverted  $\sigma_b$  distributions.

Ute Wollschläger (Institut für Umweltp Physik, Universität Heidelberg) , Holger Gerhards , Kurt Roth

## **Measuring soil water content with ground-penetrating radar**

Email: [ute.wollschlaeger@iup.uni-heidelberg.de](mailto:ute.wollschlaeger@iup.uni-heidelberg.de)

Ground-penetrating radar is applied in a wide range of hydrological investigations as a non-invasive method for soil water content estimation. A special feature of layered soils is a combination of gradients in water content and discontinuous jumps. We use a time series of volumetric water content measured with time domain reflectometry (TDR) from different soil layers for the hydraulic inversion of detailed soil water content profiles. From these data, continuous profiles of relative dielectric permittivity are calculated. GPR forward simulations using the permittivity profiles calculated from the hydraulic inversion and distinct layer permittivities from the TDR measurements are compared to a time series of measured radargrams.

W. Rühaak (Leibniz Institute for Applied Geosciences (GGA)) , Volker Rath , Andreas Wolf , Christoph Clauser

### **3D-Finite-Volume groundwater and heat-transport modeling with non-orthogonal grids, using a coordinate transformation method**

Email: [w.ruehaak@gga-hannover.de](mailto:w.ruehaak@gga-hannover.de)

Many popular groundwater modeling codes are based on the finite-differences or finite-volume method for orthogonal grids. In cases of complex subsurface geometries this type of grid either leads to coarse geometric representations or to extremely fine meshes. We use a coordinate transformation method to circumvent this shortcoming. In computational fluid dynamics, this method has been applied successfully to the general Navier-Stokes equation. The method is based on tensor analysis and performs a transformation of a curvilinear into a rectangular unit grid, on which a modified formulation of the differential equations is applied. Therefore it is not necessary to reformulate the code in total. We applied the coordinate transformation method to an existing three-dimensional code (SHEMAT), a simulator for heat conduction and advection in porous media. The finite-volume discretization scheme for the non-orthogonal, hexahedral grid yields to a 19-point stencil and a correspondingly banded system matrix. The implementation is straightforward and it is possible to use some existing routines without modification. The accuracy of the modified code was demonstrated on a two-dimensional analytical solution for flow and heat transport and further on with a thermal free-convection benchmark.

Sébastien Lambot (Université catholique de Louvain - Forschungszentrum Jülich) , Evert Slob , Marnik Vanclooster , Harry Vereecken

## **Electric and hydraulic property identification from time-lapse GPR Green's function inversion**

Email: [lambot@geru.ucl.ac.be](mailto:lambot@geru.ucl.ac.be)

Knowledge of water dynamics in soil-plant-atmosphere or biogeosystems is essential in agricultural, hydrological and environmental research and engineering as it controls, at different scales, key hydrological processes, plant growth, contamination of surface and subsurface water, sustainability of ecosystems and biodiversity, and climate. Specific features of biogeosystems are their inherent spatial and temporal variability, the inaccessibility of the subsurface, which hinders the observation of relevant processes, and the interconnectivity of different subsystems, which requires a holistic approach. Therefore, there is a strong need for the development and integration of novel techniques, which allow non-invasive monitoring of both surface and subsurface processes at a spatial scale which is relevant for the management of biogeosystems. In that respect, ground-penetrating radar (GPR) constitutes a highly promising tool, which has already been successful in a series of hydrological applications.

We present an off-ground GPR approach based on integrated electromagnetic and hydrodynamic inverse modeling for identifying field-scale unsaturated soil hydraulic properties and electric profiles from time-lapse Green's functions in the frequency domain. The Green's functions are deri-

ved from the raw radar data by filtering all antenna multiples and antenna-soil interactions using an adequate antenna model. The Green's function represents the upward electric field for a unit electric source, considering wave propagation in three-dimensional multilayered media. The radar data are inverted iteratively by constraining the electromagnetic model using unsaturated hydrodynamic laws in a closed loop. We present a series of numerical analyses for different textured soils and boundary conditions demonstrating that enough information may be contained in the time-lapse data for estimating in a unique way key soil hydraulic properties. A laboratory infiltration experiment in a sandy soil demonstrated the promising perspectives of the proposed technique for mapping the soil hydraulic properties at the field scale and retrieve continuously varying vertical electric profiles. The method needs large computing resources.

Juliane Arnold , Hansgeorg Pape (RWTH Aachen, Applied Geophysics, RWTH Aachen University, D-52064 Aachen, Germany) , Renate Pechnig , Christoph Clauser , Elena Talnishnikh , Sophia Anferova , Bernhard Blümich

## **Permeability prediction for low porosity rocks by mobile NMR and model theory, considering the thickness of pore interlayer with internal field gradients.**

Email: [h.pape@geophysik.rwth-aachen.de](mailto:h.pape@geophysik.rwth-aachen.de)

Permeability prediction from NMR well logs or mobile NMR core-scanner data is advantageous as the measurements can be performed directly in the formation and on fresh cores right after drilling, respectively. Besides, the method is fast and non-destructive. Compared to T1 relaxation times of longitudinal magnetization, commonly measured T2 relaxation times of transverse magnetization are influenced by external and internal magnetic field gradients. Resulting diffusion effects lead to shorter T2 values and thus to apparent smaller pore sizes. With a mobile NMR core scanner, we could compare T1 and T2 distribution curves by two dimensional correlation experiments to obtain the amount of diffusion effects with respect to the T2 distribution curves. Based on model theory the pore radius dependence of surface relaxivity  $\rho_2$  has been described as an analytical and a more practicable empirical equation. Regarding the corrected effective  $\rho_2$  values, permeability could be predicted from the logarithmic mean of the T2 distribution with the physically based Kozeny-Carman equation instead of commonly used empirical equations. However, NMR results have to be calibrated for each formation by inde-

pendent permeability measurements on core plugs. To interpret NMR data with respect to permeability obtained within the Allermoehe sandstone formation with low porosity, we conducted several petrophysical measurements on corresponding core plugs. For example, taking into account the formation factor for hydraulic flow in addition to the logarithmic mean of the T2 distribution, permeability prediction is strongly enhanced. Further structural parameters measured on core plugs, as porosity, permeability, specific inner surface area and pore radius distributions provided a basis for improved permeability prediction in combination with the NMR results.



Oliver Mohnke (TUB, Angewandte Geophysik, Germany) Dept. of Applied Geophysics (TUB), Germany), Matteo Agostini, Jean Bernard, Ugur Yaramanci

## **Increasing success rates of drill holes for water exploration in Uganda using MRS**

Email: [oliver.mohnke@tu-berlin.de](mailto:oliver.mohnke@tu-berlin.de)

Magnetic Resonance Sounding (MRS) is a geophysical method that allows direct determination of the distribution of the mobile water content and effective porosities in the subsurface by surface measurements. In MRS the hydrogen protons in the pore water are excited with an artificial magnetic field, which is usually generated by a circular or figure-of-eight antenna loop energized by an alternating pulse oscillating with the local Larmor frequency of the protons. The amplitude of the NMR signal is directly proportional to the amount of bulk water in the saturated zone. The relaxation behaviour of the NMR signal is linked to the pore sizes. So far the method is used in sounding mode [1].

Important for the worldwide application of the method is the square proportionality between MRS signal amplitudes and the total intensity of the Earth's magnetic field. The total intensity shows global structures with maximum values of  $> 70\,000$  nT over the polar regions and minimum values of  $< 20\,000$  nT in South America. In Uganda the field strength is in the range of  $33\,000$  nT at an field inclination of about  $-10^\circ$ . This results in different MRS signal amplitudes for the same hydrogeological situation, e.g. lower amplitudes in equatorial regions.

The supply of freshwater for local villa-

ges that are relocated after the end of the civil war in Uganda is a crucial effort of development aid to prevent spreading of infectious diseases such as cholera or hepatitis. Depending on the local geology the success rate of fresh water drill holes can range from 50 to 80

A MRS field survey in a cooperation of Technical University of Berlin, Iris Instruments and TechnoDrill, a local drilling company has been conducted in the northern Uganda near the district capital of Kitgum. The geology of that region generally comprises overburden layers of laterite soil (cap) followed by clay and unconsolidated sediments and a granite basement. Water can be found in the overburden material, alteration zone and in the fractured granite within depth in the range of 20 – 100 m. In this respect local changes of formation can be observed within a few 100 m. Aquifer thicknesses encountered in the overburden are in the range of 5-15 m, while aquifers found in the fractured granite can exhibit thicknesses of less than 1 m. Susceptibility of the laterite and the granite showed to be in the range of  $< 10e-3$  SI being yet in tolerable range for the use of MRS.

Due to increasing electromagnetic noise, during the day caused by the equatorial electrojet (EEJ) and thunderstorms, MRS

surveys could be carried out only in the early morning hours. At all survey locations only very small signal amplitudes have been observed ( $< 40\text{nV}$ ), which correspond to a low mobile water content in the ground ( $< 5 \text{ vol.}$ ).

[1] Weichmann, P.B., Lavelly, E.M. and Ritzwoller, M., 2000. Surface nuclear magnetic resonance with application to geophysical imaging problems. *Physical Review E* 62(1), Part B, 1290-1312.

Norbert Klitzsch (RWTH Aachen) , Andreas Pawlik , Volker Rath , Andreas Hördt , Roland Blaschek

## **Interpretation of SIP Field Measurements - Potential and Limits**

Email: klitzsch@geophysik.rwth-aachen.de

Spectral induced polarisation (SIP) measures the complex, frequency dependent electrical conductivity of rocks. Laboratory measurements on sedimentary rocks have shown that SIP data can be applied to distinguish between different lithologies and to derive hydraulic permeabilities. For the interpretation of field measurements the correlation between the imaginary conductivity (measured at low frequencies) and the inner surface area (or pore/grain size) is mostly used. Unfortunately, these parameters do not correlate very well. Furthermore, the imaginary conductivity depends on further parameters (e.g. water salinity). An improvement of the SIP interpretation (aimed to distinguish between different lithologies or to predict permeabilities) can be achieved by using the complete spectral information, i.e., by analysing the frequency dependence e.g. in terms of relaxation time.

Electrical spectra measured in the field (in contrary to laboratory measurements) are strongly influenced by electromagnetic coupling between the electric wires and the ground as well as among the wires themselves. The influence of coupling will be shown on several field data. Potential and limits for interpreting these data will be discussed. The interpretation of SIP field measurements could be improved by considering the electromagnetic coupling in the in-

version process. Thus, the true SIP response of the subsurface will be hopefully derived. An approach for modelling the inductive coupling between the current wires and the ground will be introduced.

Nuha Mohamed (Al Neelain University - Sudan) , Ugur Yaramanci

## **Integrated Geophysical Groundwater Prospecting Techniques on Complex Aquifer Structures in Western Sudan.**

Email: nuha.mohamed@geophysik.tu-berlin.de

The study area, 550 km SW Khartoum, has an annual rainfall of 600 mm but it either evaporates or seeps down in the unconsolidated deposits and the open fractures as groundwater. The water flow is controlled by the faults that are attributed to the collision of the Pan-African oceanic assemblage of the Nubian shield against the pre-Pan African continental crust to the west.

Three geophysical techniques were integrated to map the groundwater aquifers in the study area: electrical resistivity tomography (ERT), very low frequency-resistivity (VLF-R) and the audio-magnetotelluric (AMT) soundings, and they were overlapped for geophysical correlation and agreement. The ERT survey was a typical Wenner-alpha field array. RES2DINV program was employed for smooth inversion. Both the standard least-squares constraint and robust constraint were attempted; the first gave reliable sedimentary pattern and geometry, while the later was successful to map sharp sediments/basement transition and guide for true resistivity but gave unreliable geometries in the complex subsurface. The sedimentary sequence is not symmetrical due the seasonal variations of the flow direction. The basement was mapped at 31 m except of the southern area. Variations of the basement types were reflected by their

resistivity values, and consequently their weathered products differ in water quality. The VLF-R data has been collected with TE mode using the transmission stations GBR, GBZ and RHA of frequencies 16.0, 19.6 and 23.4 kHz respectively. 2D laterally constrained inversion was employed along each single profile at a single frequency, resulted in a smooth model of 2D resistivity distribution after manual incorporation of a priori data. The correlation of the inverted ERT and VLF lines confirmed the fracture zones and the deeper basins. 8 AMT soundings, involved audio frequency range from 35 to 12670 Hz were obtained. True resistivity and their relevant thicknesses were calculated and the depth to the basement in each sounding is viewed as a 3D surface image. Olayinka and Yaramanci (2000) have described the results and instabilities of various structure-based models using smooth and block inversion routines, which agreed our conclusion that the smooth-inverted sections do not satisfy completely the determination of precise water bearing formations. The recent work now focuses in 2D synthetic modeling and inversion of data based on the different geological complexities of the study area.

### Reference

Olayinka A. and Yaramanci U. (2000): Use of block inversion in 2D interpretation

of apparent resistivity data and its comparison with smooth inversion. *Jour. of Applied Geophysics*, 45, 63-81.

Helga Wiederhold (GGA-Institut) , Hanna-Maria Rumpel , BurVal Working Group

## **Geophysical mapping of buried valley aquifer systems: the project BurVal**

Email: [h.wiederhold@gga-hannover.de](mailto:h.wiederhold@gga-hannover.de)

The ice ages had a dominating influence on the surface structure of the North European lowlands. But the influence of the glaciers is not restricted to the surface: sub-glacial meltwaters have carved steep valleys down to 500 m depth into the underground. Refilled with glacial sand, clay and till and not visible at the surface, the so called buried valleys form a dense network. The buried valleys can have an important influence on the groundwater conditions, e.g., - filled with sandy material, they are important groundwater reservoirs, - filled with sandy material, the valleys can form hydraulic contacts between different aquifers in the surrounding which are normally separated by clay layers, - filled with clayey material, they interrupt the aquifers in the surrounding and can form a barrier affecting the groundwater flow.

Normally the valley fill is not uniform, so that the influence of a buried valley on groundwater conditions can vary along its course. The increasing importance of buried valleys for the water supply makes intensive hydrogeological investigations necessary. This, in turn, brings the demand for investigation tools adapted to the problems of these groundwater resources. The investigation results should be a base for measures concerning the protection of the groundwater resources by the environmental administrations.

The aim of the EU project BurVal (Interreg North Sea Programme) is to develop tools for the mapping of buried valleys under the aspect of the groundwater supply, to test and demonstrate these tools at selected Pilot project areas, and to show how these mapping results can contribute to a sustainable use of the water resources. Since the start of the project in January 2004 intensive investigations have been conducted in six pilot project areas that would not have been possible without the co-funding by the European Union. The transnational aspect allowed the possibility to test and compare a wide range of methodologies. Nine partners from Denmark, Germany and the Netherlands cooperated in this project.

Results of the investigation program showing the combined use of geophysical techniques to characterize buried valleys are presented in the poster.

Mathias Bach (Institute for Meteorology and Climate Research, Forschungszentrum Karlsruhe/University of Karlsruhe) , Christian Hauck

## **Inversion of time dependent geoelectric and seismic data for 2D imaging of ice- and watercontent in the upper subsurface**

Email: mathias.bach@imk.fzk.de

Quantifying and 2-dimensional imaging of the distribution of water and ice in the near subsurface is an important task in a number of environmental and engineering projects, such as the mountain permafrost monitoring study GO4ICE (Geophysical observation and 4-phase modelling of ice content evolution) and the determination of large-scale soil moisture fields for soil-atmosphere transfer models (Moisture-Net). The main goal in the co-operation of these two projects is to quantitatively determine the volumetric contents of ice and water in the upper subsurface. This will be investigated in a time dependent analysis considering long-term (ice) and short-term (water) changes for different field data sets. Electrical resistivity and seismic refraction tomography is used to image the subsurface in terms of resistivity and p-wave velocity, respectively. With use of Archie's Law and the seismic mixing rule by Timur it is possible to develop a „Four-Phase-Model,, deriving expressions for three of the four volumetric parts water, ice, air and rock. Input parameters, besides seismic and geoelectrical data, are the three free parameters in Archie's Law cementation factor ( $m$ ), saturation exponent ( $n$ ) and a fitting parameter ( $a$ ). To achieve an optimal model adjustment fitting of the usually unknown volumetric

rock content is essential as well. These four parameters are varied within a Monte-Carlo approach, limited by maximum and minimum values of each parameter known from literature. In case of time-dependent measurements the rock volume (1-porosity) will remain constant, by this enabling the determination of all four volumetric contents. Results from test studies performed on time independent data from the Swiss Alps yield good matches to ice, air and water distributions known from borehole data. Similarly successful model results have been achieved on ice-rich permafrost occurrences on a test field in the Maritime Antarctica. In this contribution, first results concerning the model and its time-dependent variant will be presented, and future approaches will be discussed.

Ferdinand Schoemaker (Delft University of Technology) , D.M.J. Smeulders , Evert Slob

## Electrokinetic subsurface characterization

Email: F.C.Schoemaker@tudelft.nl

When a dielectric is immersed in an electrolyte, a surface charge often appears. For example glass immersed in an aqueous solution becomes negatively charged due to the fact that the silane terminals *Si-O-H* located at the surface of the glass become protonated in the presence of an aqueous solution.

When an isolated surface carrying an acquired charge is immersed in an electrolyte, the mobile charge of the liquid forms a so-called 'double layer' near the immersed surface. This double layer consists of 2 layers. The first layer, known as Stern layer, is a molecular film of counter-ions which are bonded to the solid by electrostatic interaction. The second layer is the diffuse layer and results from a statistical equilibrium between thermal and electrical forces. The thickness of this layer  $\lambda_d$  is the Debye-Hückel length which is the characteristic length scale of the problem. The order of magnitude is a few tens of nanometers for a solution of water and salt at  $1\mu$  Molarity. In practice, it is difficult to obtain much higher Debye-Hückel lengths.

Electro-osmotic flow is a phenomenon produced in a fluid when an electric field is applied parallel to the surface in the presence of an established double layer. The double layer is moved by Coulomb forces and the rest of the fluid is pulled with it due to viscous forces. The inverse effect is

called streaming potential, when an electric field is generated due to fluid flow (caused by a hydraulic gradient). Both effects are of importance for subsurface characterization. In seismic surveys, for example, subsurface waves are generated that induce streaming potentials that are measured at the surface of the earth. Alternatively high voltage sources can be used at the surface to induce subsurface motion that can be detected by geophones at the surface. For these type of measurements dynamic (i.e. frequency-dependent) effects are of importance.

During this research our attention is directed towards the measurement of the frequency-dependency of streaming potential and electro-osmosis. By application of a sinusoidal pressure or current onto a porous, fluid saturated core sample, in a Dynamic Darcy Cell set-up, we are capable of validating the currently applied governing equations (Pride equations). We use the Eulerian model, whereby both fluid and solid are considered as continua, by considering the fluid saturated porous system at a 'macro' scale. The system is described by a double set of conservation equations for both the fluid and the solid (Biot theory), combined with Maxwell theory.

Special attention is paid to the coupling of both electrokinetic effects and their individual components which influence this interaction. The most important ones are the



salinity of the fluid and the hydraulic permeability of the rock/soil. Measurements have been performed of the conductivity, as a function of concentration and temperature. A variety of cores is considered, of which also the dynamic permeability has been measured.

Jörg Rings (Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Forschungszentrum Karlsruhe/Universität Karlsruhe), Christian Hauck

## **Forward-inverse resistivity modelling and numerical simulation of small-scale water processes in the shallow subsurface**

Email: joerg.rings@imk.fzk.de

In geophysical applications, computational methods of data processing are an indispensable part of most investigations. Numerical simulations of physical processes can be used to gain confidence into geophysical measurements and measured quantities. This is especially important for specific time-dependent processes on a small scale, which are not necessarily resolved by standard geophysical techniques, i.e. water infiltration. Results from the numerical simulations can then be implemented in geophysical forward-inverse modelling cycles to analyse the response and the applicability of a certain measurement configuration and/or a specific inversion technique.

In our applications, we use electrical resistivity tomography (ERT) to monitor and quantify water content evolution. In order to increase the credibility of the obtained inversion results, we explore a combination of water movement simulations and corresponding resistivity distribution modelling. To simulate the percolation of water in a soil volume, the Richards equation which describes the movement of water in unsaturated soils is numerically solved using the finite-element method (HYDRUS, Simunek et al. 1999). The medium is characterized by the van Genuchten-Mualem model of soil parameters, and the simulation is driven by ac-

tual meteorological input data.

We used a simple soil model consisting of a box of 8m width and 1.5m depth, and a sand material for all but the top 0.2m, where a soil layer was included to represent the organic overburden. The simulation was driven by atmospheric data retrieved from a meteorological station in Karlsruhe yielding daily averages of evapotranspiration and rainfall rates over the course of half a year.

Variations of this simple model were derived each highlighting a distinct feature. This includes cracks in the soil layer filled with hydraulically conductive material that can transport water into the sand layer and a vertical barrier of very low hydraulic conductivity in the sand that blocks parts of the vertical flow paths. Representative stages of the water infiltrating process were identified, and synthetic data sets based on the related changes of electrical resistivity contrasts with time were created mirroring these states. The synthetic data sets were being converted to apparent resistivity data sets using the forward modelling tool RES2DMOD (Loke and Barker 1999).

The analysis of the inverted synthetic data sets discusses how the various model elements are represented in the inversion, and if and how distinctive features of the stages

of water infiltration were resolved. Inversion artefacts, e.g. increasing electrical resistivities below the conductive zone associated with infiltrating water in only one part of the model can appear during the inversion process. We discuss how the contrast in resistivity, model resolution and measurement geometry are playing a dominant role whether a feature can be resolved in the inversion. To this end, different available resistivity inversion routines are tested, and different measurement arrays are simulated to analyse the limitations of resistivity inversion for reliably resolving small-scale and time-dependent water processes in the shallow subsurface.

#### REFERENCES

Loke, M.H. and Barker, M.D. 1999. RES2DMOD: Rapid 2D resistivity forward modelling using the finite-difference and finite-element methods.

Simunek, J., M. Sejna, and M. Th. van Genuchten. 1999. The HYDRUS-2D software package for simulating two-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variable saturated media. Version 2.0, IGWMC-TPS-53, International Ground Water Modeling Center, Colorado School of Mines, Golden, CO.

Alexis Maineult (Institut de Physique du Globe de Paris) , Elmar Strobach , Jörg Renner

## **Self-potential variations induced by periodic pumping tests at Kemnader See, Bochum**

Email: maineult@ipgp.jussieu.fr

Combining hydraulic tests with measurements of the variations of self-potential (SP) at the surface may yield densely spaced information on hydraulic properties of the subsurface. We carried out such measurements while performing periodic pumping tests in a vacated sandstone quarry, at the northwestern border of an artificial freshwater reservoir (Kemnader See) of the River Ruhr, at the southern city limits of Bochum, Germany. Successions of injection and production intervals were applied in a borehole penetrating the jointed sandstone aquifer (Renner & Messar, *Geophys. J. Int.* 167, 2006). The applied periods ranged between 10 and 60 minutes and the flowrates were comprised between 10 and 30 L / min. The observed SP signals and the pressure/flow field in the subsurface clearly correlate. SP signals are periodic, attenuated and phase-shifted with distance. Nevertheless, the relationship between hydraulics and electrics is not simple. In particular, the shape of the SP curves is non-harmonic: the Fourier amplitude spectra contain two main components (at the period and half the period), suggesting that non-linear processes were acting. The SP responses seem to depend significantly on the characteristics of the layer above the aquifer.

Norman Wagner (MFPA an der Bauhaus-Universität Weimar), Klaus Kupfer, Eberhard Trinks

## **Numerische und experimentelle Untersuchungen zur Sensitivitätscharakteristik des TDR-Fachbandkabelsensors in verlustbehafteten und dispersiven Böden**

Email: norman.wagner@mfpa.de

Die Bestimmung der räumlichen und zeitlichen Feuchteentwicklung in Bauwerken des Hochwasserschutzes oder in Untertagedeponien mit ortsaufgelöster Time Domain Reflectometry (Spatial-TDR, [3]) erfordert die genaue Kenntnis der Ausbreitungscharakteristik elektromagnetischer Wellen entlang der Sensoren in gesättigten und teilgesättigten verlustbehafteten, dispersiven Böden. In der vorliegenden Untersuchung wurden hierzu 3D elektromagnetische finite Elemente Simulationen in HFSS (High Frequency Structure Simulator - Ansoft) an einem 30cm und 6cm Flachbandkabelsegment (FBK) durchgeführt. Das FBK wurde hierzu in Luft, Wasser unterschiedlicher Salinität sowie in natürliche und synthetische Böden eingebettet.

Die Messung der dielektrischen Spektren der Materialien erfolgte mittels Koaxialleiter-Technik im Frequenzbereich 1MHz-20GHz bei RT und 1bar. Zur Parametrisierung der Spektren mittels eines fraktionalen Relaxationsmodells [4] im untersuchten Druck-Temperaturbereich wurden drei bodenspezifische Relaxationsprozesse angenommen: die primäre Wasserrelaxation sowie zwei sekundäre Prozesse (Wasser-Ion-Bodenmatrix Wechselwirkungen, [2]).

Die auf Vektorelementen basierte FE-Simulationen wurden mit einer adaptiven  $\lambda/3$  Netzverfeinerung für Lösungsfrequenzen 1MHz, 10MHz, 0.1GHz, 1GHz und 12.5GHz durchgeführt. Die Bestimmung der komplexen S-Parameter erfolgte im Frequenzbereich DC-12.5GHz. Hieraus wurde die Sprungantwort im Transmissions- und Reflektionsmodus beidseitig bestimmt ([4]).

Aus der 3D EM-Feldverteilung kann qualitativ eine Änderung der Sensitivitätscharakteristik entlang des Sensors in Abhängigkeit vom dielektrischen Relaxationsverhalten des umgebenden Materials und von der Frequenz abgeleitet werden. Speziell für die verlustbehafteten Böden nimmt die Impulsanstiegszeit drastisch mit steigendem Wassergehalt und abnehmender Porosität zu. Im Fall des 30cm FBK tritt ab einem kritischen volumetrischen Wassergehalt  $< 25\%$  ein anomales Verhalten (Umkehrereffekt) auf. Weitere numerische und experimentelle Untersuchungen in Kombination mit Rekonstruktionsverfahren müssen die Möglichkeiten und Grenzen von Spatial-TDR in verlustbehafteten und dispersiven Materialien zeigen.

[1] HILFER, R. (2002) *Physical Review E*, 65:061510

[2] ISHIDA, T., MAKINO, T., AND WANG, C. (2000), 48(1):75-84.

[3] SCHLAEGER, S. (2005) *Hydrology and Earth System Sciences*, 9:481-492.

[4] WAGNER, N., KUPFER, K., AND TRINKS, E. (2006) *Tagungsband 66. DGG-Tagung* 232-233.

Stephan Strehl (Technische Universität Berlin) , Marian Hertrich , Ugur Yaramanci

## Post-Processing of Magnetic Resonance Sounding Data Using the Discrete Wavelet Transform

Email: [strehl@geophysik.tu-berlin.de](mailto:strehl@geophysik.tu-berlin.de)

The method of Magnetic Resonance Sounding has the potential to provide important information to the understanding of the hydrogeological conditions [1]. Its response amplitude is directly correlated to the amount of subsurface water and its relaxation constant relates to some extent to pore space properties and provides estimates of hydraulic conductivities. However, the crucial point in reliable parameter estimation from MRS data by inversion is the signal quality. The recorded MRS response signal level is in most cases in the range of the ambient electromagnetic noise, often even lower. The poor signal to noise ratio (S/N) requires, beside an optimized recording scheme, a sophisticated signal processing to reveal reliable MRS results even in difficult noise conditions. We present here an innovative processing scheme applied to recorded time series to eliminate spiky events, as often inferred by radio transmitters.

Beside the natural electromagnetic background noise, always present in MRS measurements, the signal is additionally affected by artificial noise like power line harmonics and spiky events from mobile phone radio transmitters. Appropriate post-processing strategies have to be found for every survey individually to account for the local conditions. The background noise, i.e. random and Gaussian distributed noise, can be efficiently reduced by calculating and fitting the components of the autocorrelation function of the complex MRS signal [2], while the harmonic noise can be eliminated by the application of notch filters [3]. A possi-

ble way to eliminate spiky noise features from the signal with the help of the Discrete Wavelet Transform (DWT) is proposed here.

The common way to prevent signal distortions caused by spiky noise is the rejection of the disturbed single records prior to stacking. This is possible during the measurement by a user defined voltage threshold for records to be accepted. This often leads to very time-consuming measurements to obtain the wanted number of stacks. Another way is the stacking of the single records excluding distorted traces in the post-processing of the data, but this procedure leads to an increasing background noise level caused by the lower number of stacks. The new post-processing scheme is based on the isolation of the spiky event using the DWT by the use of a sensible wavelet base. After transformation of single records to the wavelet domain, events with high amplitudes are represented by large wavelet coefficients. Thus, coefficients associated with the interfering event can easily and automatically be selected. The calculation of the Inverse DWT with the selected coefficients only, leads to the reconstruction of the interfering event, i.e. its isolation. After the subtraction of the isolated event from the original record the remaining noise is in the range of the normal background noise and has similar statistical properties. An automatic routine applies this procedure at every single record of the survey. Post-processing stacking of the corrected records yields a MRS signal with a significantly improved S/N. The fitting of signals with higher

S/N leads to a more accurate estimation of the MRS amplitudes and the decay times and thus to a more accurate estimation of the water content and hydraulic permittivity distribution in the subsurface. The described method is successfully applied at a real data set and the improvement of the S/N of the signals after the processing is shown.

**References:**

- [1] Yaramanci, U., Lange, G. and Hertrich, M. (2002): Aquifer characterization using Surface NMR jointly with other geophysical techniques at the Nauen/Berlin test site, *Journal of Applied Geophysics* 50 (1-2), 47-65.
- [2] Strehl, S., Rommel, I., Hertrich, M., Yaramanci, U. (2006): New Strategies for Filtering and Fitting of MRS Signals. *Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Workshop on MRS, Madrid, IGME-Spain*, 65-68.
- [3] Legchenko, A. and Valla, P. (2003): Removal of power-line harmonics from proton magnetic resonance measurements. *Journal of Applied Geophysics* 53, 103-120.



Katrin Breede (TU Clausthal (now FZ Jülich)) , Andreas Weller

## **Correlations between electrical parameters derived from multi-salinity-SIP-Measurements and petrophysical properties**

Email: k.breede@fz-juelich.de

Measurements of spectral induced polarization (SIP) on various sandstones were performed with different salinity. Four types of salts (sodium, calcium, potassium and aluminium chloride) were used to examine existing dependences of electrical parameters like in-phase conductivity, out-of-phase conductivity, and phase angle on salt solutions of different cat ion types with increasing concentration. The results were shown in the last two DGG-conferences.

Based on these measurements, comparisons between petrophysical properties (porosity, specific surface area per unit pore volume, and permeability) and the electrical parameters were done.

The comparison of the formation factor and the porosity which is based on the first ARCHIE-law shows high cementation exponents for all measured samples, when compared with literature values of Schön (1983).

The KOZENY-CARMAN equation which relates pore space geometry to permeability was modified by Pape et al. (1983) to the so-called PARIS equation considering the fractal character of the internal surface. The resulting equation is based on the so-called pigeon-hole-model. A comparison of the product of the permeability and the formation factor with the specific surface area shows a good agreement of our samples with literature values of Pape et al. (1983). Since most samples show a considerable clay content the internal surface is greater than predicted by the pigeon-hole-model.

Another graphical presentation compares the interfacial conductivity and out-of-phase conductivity with the specific surface area. A linear correlation between these parameters was found for sediments with constant phase angle behaviour by Börner et al. (1996). They stated that in case of consistent pore fluid composition and only slightly varying formation factor, it is possible to directly derive the specific surface area from the out-of-phase conductivity. To get the specific surface area, the out-of-phase conductivity is multiplied with a factor  $a'$ . Börner et al. (1996) obtained for measurements with sodium chloride  $a'$ -values in the range of 84 m/(mS\* $\mu$ m). For our measurements, a slightly higher value was achieved for sodium chloride:  $a' = 110$  m/(mS\* $\mu$ m). For the same concentration, the measurements with calcium chloride result in a more than two times greater value of  $a' = 240$  m/(mS\* $\mu$ m). From our experiments should be concluded that the slope of the linear relation between the specific surface area and the out-of-phase conductivity depends on the chemical composition of the pore water.

Börner, F.D., Schopper, J.R. and Weller, A., 1996: Evaluation of transport and storage properties in the soil and groundwater zone from induced polarization measurements. Geophysical Prospecting 44.

Pape, H., Riepe, L. and Schopper, J.R., 1983: Conversion between Specific Surface Measurements of Different Resolution Power with the Aid of Pigeon-hole Model Theory. Proceedings of the RICEM/CNR International Symposium,

Milan (1983), Paper 20.

Schön, J., 1983: Petrophysik – Physikalische  
Eigenschaften von Gesteinen und Mineralen.  
Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.

Raphael Dlugosch (Universität Jena) , Corinna Kroner , Thomas Jahr

## **Detection of temporal and spatial hydrological variations with the Slingram method**

Email: raphael.dlugosch@uni-jena.de

The detection of spatial changes in time-dependent hydrological variations can be an important addition to conventional hydrological observations, especially for inhomogeneous subsurface conditions. These data provide details on hydrological processes and can be used to identify areas with nearly homogeneous hydrological variations. Both aspects are helpful with regard to the planning of further observations and the development of hydrological models. Since changes in the water content directly influence the specific electrical conductivity of the ground, measurement of this physical variable is a useful means to gain information on the water distribution in the near surface layers.

The main objective of this study was to investigate whether the detection of small-scale spatial and temporal changes in the electrical conductivity due to hydrological variations in a forested and hilly area is possible using a conventional instrument. An EM31-SH from Geonics Ltd. with two penetration depths of up to 3 m was deployed for this study. Because of the small magnitude of the expected signal (approx. 1 mS/m) extensive studies were carried out regarding instrumental properties. While handled with care, instrumental drifts of approximately  $\pm 0.5$  mS/m per h occurred whereas drifts of some mS/m per 10 min appeared in consequence of a shock of the instrument. Using a reference point with constant conductivity, basis points and control profiles, an accuracy (repeatability) of approximately  $\pm 0.4$  mS/m was achieved.

The conductivity mapping covered two areas with different hydrological situations in the fo-

rested and hilly surroundings of the Geodynamic Observatory Moxa (Thuringia). In addition to an area in the floodplain of a little creek our main interest focused on a larger area on a steep slope where interflow processes were observed by former studies. From Feb. till July 2006 six conductivity mappings with a spatial resolution of  $1 \times 1$  m<sup>2</sup> were carried out during different hydrological situations. The conductivity data were corrected with regard to seasonal soil-temperature variations and compared with soil moisture recordings from TDR-probes and water gauge measurements.

In the floodplain, the time-dependent conductivity variations are spatial homogeneous and correlates positively (+0.3 mS/m per Vol.%) with the observed soil moisture variations. The area of the forested and steep slope revealed spatial differences in the conductivity variations of up to 2 mS/m. The changes follow primarily the topography. Especially for the deeper zones of the subsurface a negative correlation (-0.1 mS/m per Vol.%) was observed. This indicates the dominant influence of changes in the pore water salinity as a result of ion leaching. Therefore, the influence of salinity should be a major topic for future studies.

Jens Tronicke (Institute of Geosciences, University of Potsdam) , Urs Böniger

## **Multi-offset vertical radar profiling: basic concepts and processing strategies**

Email: [jens@geo.uni-potsdam.de](mailto:jens@geo.uni-potsdam.de)

The vertical radar profiling (VRP) technique uses surface-to-borehole acquisition geometries comparable to the well established vertical seismic profiling (VSP) method. Major differences between the two methods do, however, arise due to fundamentally differing nature of the velocity-depth gradients and transmitter/receiver directivities. Until now, VRP studies are primarily published in hydrological applications, e.g., for estimating water content or porosity from VRP velocity profiles. In this study, we examine the VRP technique and associated concepts that need to be considered when acquiring, analyzing, and interpreting VRP data for reconstructing subsurface velocity variations and for reflection imaging of subsurface structures. Using simple ray-based models, we investigate the occurrence of waves critically refracted at the earth's surface for common near-surface velocity distributions and acquisition geometries. This analysis demonstrates that these refracted waves limit the results obtained through direct wave traveltime inversions due to their interference with the direct arrivals and hence reduce the reliability of picked direct-arrival traveltimes. To avoid waves critically refracted at the earth's surface in the recorded data, near-offset transmitter locations are preferred. We further analyze the amplitude sensitivity of the VRP antenna configuration, which is represented by an infinitesimal horizontal dipole located at the interface between two half-spaces and an infinitesimal vertical dipole in full-space. Combining the far-field radiation patterns of these two dipoles suggests that maximum sensitivi-

ties are expected for intermediate to far offsets between the surface antenna and the borehole. These fundamental investigations allow for identifying optimum strategies for traveltime inversion and reflection imaging. Synthetic and field data examples illustrate that electromagnetic velocity information can be reliably determined from inversions of the direct arrival times. These data examples further illustrate that high quality velocity information is a prerequisite for successful reflection imaging. Using an imaging strategy suitably adapted from VSP processing shows us that reflected energy from VRP data can be used to reliably image lithological boundaries and other structures. In conclusion, this study illustrates that the VRP method is a promising shallow exploration tool that may replace or complement surface and crosshole georadar surveying.

Matthias Strahser (Institute of Geosciences, Christian-Albrechts-University of Kiel) , Katja Iwanowski , Wolfgang Rabbel , Friedrich Schildknecht

## **Near Surface Seismoelectric Field Measurements - Combined Interpretation and Improved Field Technique**

Email: mstrahser@geophysik.uni-kiel.de

In saturated porous media, relative motion between rock matrix and pore fluid as caused by a compressional seismic wave generates seismoelectric signals. These signals are closely connected with the electric double layer and fluid flow parameters and could provide valuable hydrogeological information. They can be measured with an array of dipoles consisting of two electrodes each connected to a seismograph.

There are two main seismoelectric wave types, the coseismic and the converted seismoelectric signals. The coseismic waves accompany the seismic waves and are confined to them, whereas the converted seismoelectric signals have their origin at subsurface interfaces. In most seismoelectric applications, these converted waves are the signal of interest because they are expected to contain information about the converting boundaries.

A surge in seismoelectric publications is noticeable in the past few years. However, there have been very few publications on real seismoelectric field data. It seems that although the seismoelectric method becomes more and more elucidated in terms of theoretical and numerical aspects, the difficulties that are connected with seismoelectric field measurements still prevent this method from being used in a larger scale. Seismoelectric signals, especially the converted ones, have very weak amplitudes compared to seismic waves. Our own experiments showed that a sledgehammer often is not strong enough to generate usable converted signals. The use of

accelerated weight drops enabled much better signal quality and also the successful detection of converted seismoelectric signals where it was not possible in previous experiments with a sledgehammer. We collected seismoelectric data along with refraction seismics, geoelectrics, and GPR at several locations in Northern and Eastern Germany. We triggered manually and used an electrically insulating ground plate to prevent trigger and other electromagnetic noise that could be generated by the source and degrade the seismoelectric records. The assumed converted signals were checked in terms of amplitudes, velocities, polarities, and arrival times and compared with the other mentioned geophysical methods as well as existing information about the type and positions of the subsurface boundaries. Most of the assumed converted arrivals could indeed be classified as real events.

The results differ strongly depending on the location: At some locations, one or two converted arrivals could be detected at almost every shotpoint while other locations were dominated by strong coherent electromagnetic noise. Most of the encountered converted seismoelectric signals originate at the groundwater table but we also measured strong signals from a boundary layer in the vadose zone, a situation which is not treated by the underlying theory.

Christoph Sens-Schoenfelder (Universitaet Leipzig) , Ulrich Wegler

## **Monitoring the Ground Water Level with Seismic Noise; An Application of Passive Image Interferometry to Merapi Volcano**

Email: [sens-schoenfelder@uni-leipzig.de](mailto:sens-schoenfelder@uni-leipzig.de)

Greens function retrieval using correlations of seismic noise from different stations is on the way to become a standard method for structural investigations such as surface wave tomography. While these studies use the ballistic part of the Greens tensor we show that also the coda can be retrieved by correlation of seismic noise. The coda is of special interest for monitoring temporal changes. Using a nonlinear inversion scheme and spatial sensitivity kernels based on the assumption of diffuse energy propagation we develop a model that links changes in the coda of the Greens functions to perturbations of the ground water level. In the period from mid 1997 to mid 1999 we observe a good correlation between our measurements and ground water level changes predicted by a simple hydrological model based on daily precipitation. Since we can extract the Greens function for every day we can apply our method in monitoring mode to obtain a daily record of ground water level changes.

Juliane Arnold , Hansgeorg Pape (RWTH Aachen University, Applied Geophysics) , Renate Pechinig , Christoph Clauser , Elena Talnishnikh , Sophia Anferova , Bernhard Blümich

## Permeability prediction on low porosity rocks by mobile NMR

Email: [j.arnold@geophysik.rwth-aachen.de](mailto:j.arnold@geophysik.rwth-aachen.de)

Our research is focused on predicting the permeability of drill cores by mobile NMR (Nuclear Magnetic Resonance) measurements as a fast and non-destructive method. We use a newly developed light-weight NMR core-scanner with a nearly homogeneous static magnetic field. In addition to 1D transverse relaxation time (T2) measurements on drill cores with diameters up to 8 cm the device is even suitable for 2D longitudinal and transverse relaxation time (T1 and T2) correlation experiments on core plugs with diameters of 2 cm. Because T1 and T2 are proportional to pore size, the corresponding distribution curves can be interpreted with respect to formation permeability. Compared to T1, commonly measured T2 distributions are influenced by external and internal magnetic field gradients. Resulting diffusion effects lead to shorter T2 values and thus to apparent smaller pore sizes. In the case of typical reservoir rocks with high porosity, the influence of diffusion due to internal magnetic field gradients can be neglected and permeability can be predicted by a standard NMR logging calculation scheme. In the case of low porosity sandstones, this commonly used empirical equation comprises high uncertainties because diffusion becomes more important for smaller pore radii. From 2D correlation experiments the amount of diffusion effects with respect to the T2 distribution curves could be quantified. Based on model theory we could relate an effective pore radius to each T2 distribution curve with both an analytical and a more practical empirical equation. In a next step permeability could be predicted accurately with

the physically based Kozeny-Carman equation. However, NMR measurements require calibration for each formation by independent permeability measurements on core plugs. Besides, independent pore-size measurements and additional studies of transport properties, including the formation factor for hydraulic flow provide additional information for calibration.

Norbert Klitzsch , Annick Fehr (RWTH Aachen) , Juliane Arnold , Christoph Clauser

## **NMR and SIP measurements on rock samples**

Email: klitzsch@geophysik.rwth-aachen.de

NMR (Nuclear Magnetic Resonance) is a method most sensitive to hydrogen atoms. In NMR relaxation measurements, the relaxation of the magnetisation back to equilibrium condition after spin stimulation is measured. Transverse relaxation (T2) measurements on rock samples and in boreholes are used for a fast and non-destructive determination of porosity, pore-size distribution, and prediction of permeability. We performed T2 measurements on water-saturated rock samples using a Halbach core-scanner. With the SIP (Spectral Induced Polarization) method the frequency dependent complex resistivity is measured. Whereas resistivity mainly depends on water content and salinity, the frequency dependence is strongly influenced by the inner rock structure. We performed SIP measurements on the same samples using a SIP256C instrument. Both, SIP and NMR follow directly from the microscopic pore structure and the physicochemical properties of the inner surfaces. For deducing the pore size distribution individually from each method assumptions of the inner surface properties are required. We study whether a combination of SIP and NMR enables the deduction of an enhanced pore size distribution (independent of initial assumptions) and thus, of an improved permeability prediction. First results of SIP and NMR measurements on rock samples (gathered within a diploma thesis) will be presented as well as an approach for the joint interpretation of both methods.



---

## **2.2 S2 - Geothermal Energy**

Ladislaus Rybach (GEOWATT AG Zürich)

## The geothermal conditions in the Rhine Graben

Email: rybach@geowatt.ch

A data base of borehole measurements collected over decades indicate that generally elevated temperatures prevail in the Rhine Graben. For example at 1 km depth, instead of having the expected 40 °C, the temperature range extends up to 140 °C. The presentation addresses the geothermal conditions and processes, which are responsible for this feature.

The Rhine Graben, being part of the European Mid-Continental Rift System, is characterized by thinned crust (and therefore higher heat flow), respectively by mantle proximity (e.g.  $^3\text{He}$  anomalies). The temperature field is characterized by generally elevated values in the topmost 2 kilometers, in an inhomogenous pattern: relatively high and low temperatures can be located close to each other. Recently there is increasing evidence for convective heat transfer, at least in parts of the Rhine Graben subsurface. Convection cells develop to quite some extent within the crystalline basement; numerical model simulations show that the cells can extend over several kilometres. Water circulation velocity in the cells attains values up to cm/yr. Convective heat transfer results in highly non-linear temperature-depth profiles, like the one measured at the European EGS project site at Soultz-sous-Forêts/France: relatively high temperatures at shallow depth, and anomalously low temperature gradients underneath. It is still an open question in which Graben realms could such features be present; the data density for depths >3 km is very low.

The Rhine Graben has generally favourable conditions for geothermal energy development and utilization: generally elevated subsurface

temperatures, regional aquifers at suitable depth (e.g. Buntsandstein, Upper Muschelkalk), extensional tectonics (provides vertical permeability). The first successful application, the Riehen/BS district heating system, started to operate in 1994 and was later extended into Lörrach in Germany. Nowadays there is a large number of geothermal projects, especially in Germany, at various stages of planning and realisation. Hopefully they will be successful.

Stefan Baisch (Q-con GmbH) , Ralph Weidler , Robert Vörös

## Stimulation Induced Seismicity – Physical Mechanisms and Seismic Risk

Email: [baisch@q-con.de](mailto:baisch@q-con.de)

Shear dilation stimulation, which implies injection of large fluid volumes at high pressure, has become a standard technology for the development of high enthalpy geothermal reservoirs. In the crystalline crust, these measures are accompanied by the occurrence of vast amounts of induced seismicity. Most of this seismic activity exhibits magnitudes below the human detection threshold; however, in a few cases comparatively large magnitude events have been caused by geothermal reservoir stimulations, e.g. at Soultz-sous-Forêts (M=3), in the Cooper Basin (M=3.6) and at Basel (M=3.4). These events were felt on the surface and raised major concerns. Although none of these events has caused material damage, understanding the risk associated with reservoir induced seismicity is a prerequisite for an economic operation of a geothermal system.

Based on observations from different geothermal sites we present a conceptual model to describe the physical processes causing induced seismicity. In this model, fluid overpressures on pre-existing, tectonically stressed fractures control the triggering of induced seismicity. Fracture zones are assumed to consist of adjacent fracture patches which may slip individually on a millimetre scale. The number of fracture patches slipping simultaneously in a single event then determines the earthquake magnitude. To produce a large magnitude event, a slip avalanche of adjacent fracture patches is required which can only occur if near-critical stress conditions exist over a larger fracture area. We discuss under which conditions such a scenario may occur during hydraulic stimulation. Our

findings indicate that the probability for the occurrence of larger magnitude events increases in the shut-in period after the end of a stimulation. This is consistent with observations from various geothermal reservoirs where the largest magnitude events indeed occurred after shut-in. According to our model, the probability for the occurrence of these larger magnitude events can be reduced by flowing instead of shutting-in the injection well after the stimulation. We also find that the maximum event magnitude correlates with the size of the stimulated reservoir. Based on this correlation an estimate of the expected maximum earthquake magnitude can be obtained before (and during) hydraulic stimulations. Usually these estimates indicate maximum magnitudes below the threshold for material damage.

References: Baisch, S., Weidler, R., Vörös, R., and R. Jung, 2006. A conceptual model for post-injection seismicity at Soultz-sous-Forêts. Geothermal Resources Council, Trans., Vol. 30, 601-606.

Yoonho Song (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM)) , Youngmin Lee ,  
Min-Ho Koo , Hyoung Chan Kim

## Ground surface temperature distribution of Korea

Email: song@kigam.re.kr

Information on the ground surface temperature (GST) is a basic parameter in designing a borehole heat exchanger for geothermal heat pump system along with thermal properties of subsurface material. In addition, GST is important for agricultural and forest ecosystems. In Korea, the number of borehole heat exchanger installation is rapidly increasing since the year 2000, but there has not been made a reliable mean annual GST (MGST) map covering whole territory. To meet the increasing needs for GST information, we compiled MGST firstly based on the data measured at meteorological stations in Korea for a period from 1981 till 2002. Currently, GSTs are measured at 58 Korean Meteorological Administration (KMA) stations in Korean territory. KMA has measured GSTs at the depths of 0-5 m; measured intervals are 6 hours for temperature measurements at the depth of shallower than 0.3 m, and 24 hours for those at the depth of deeper than 0.5 m, respectively. As a compiled result, average MGST is 14.52 degree-C, which is about 2 degree-C higher than average mean surface air temperature (MSAT). MGST as well as MSAT show a clearly linear dependency on altitude and latitude with a mean square error of 0.28 and a correlation coefficient of 0.87 from the multiple linear regression analysis. However, KMA stations are located mostly at urban areas, where may cause heat island effect and most of the stations are situated at low altitude (less than 300 m above sea level). Therefore, GSTs of high altitude areas may be less reliable but, on the other hand, this may not be a serious problem in terms of geo-

thermal heat pump application because there is no big town at high altitude. An alternative source for GST data may be the temperature measurement through boreholes. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM) has collected more than 600 temperature-depth profiles and measured temperatures in boreholes drilled for mainly hot springs in Korea. We carefully scrutinized temperature-depth profiles and excluded temperature-depth profiles showing the clear evidence of perturbations by groundwater movement, thermal conductivity difference, or any other reasons. Finally, 350 suitable temperature-depth profiles were obtained and used to extrapolate GSTs by a linear regression method. Extrapolated GSTs seem to be poorly correlated with latitude and altitude. It is likely due to the fact that extrapolated GSTs have more errors than measured GSTs and/or broader range of altitude. The next step would be combining both results and analyzing the dependency on latitude, altitude and other factors such as insolation of mountainous region and thermal property and water content of top soils.

Youngmin Lee (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources) , Jungmi Nam , Yoonho Song , Jung Hee Suh

## **Evidence of Climate Change in Korea inferred from borehole temperatures**

Email: ymlee@kigam.re.kr

On long time scale and over large area, ground surface temperature (GST) tracks surface air temperature (SAT). GST changes propagate into the subsurface, exponentially decreasing in amplitude with increasing time and depth. The solid earth filters out daily and seasonal GST changes while maintaining a running record of the long-term average. Borehole temperatures, therefore, can be used to recover climate changes over the last millennium in an area. Temperature perturbations due to GST changes were calculated in homogeneous half space and layered earth models, and then GST histories were reconstructed from temperature perturbations. When the difference of thermal diffusivity between the upper layer and the lower layer is not considerable, we can assume that subsurface space is homogeneous half space; thus thermal diffusivity is a constant. GST histories based on various GST models were reconstructed with varying thermal diffusivities, SVD damping factors, and depths of borehole. In Korea, there exist more than 600 temperature-depth profiles, but many of them are disturbed by pumping and groundwater flow. Therefore, a few papers have been published so far on the climate changes inferred from borehole temperatures. Goto et al.(J. Geophy. Eng., 2005) reconstructed GST histories using 3 temperature-depth profiles obtained from Ulsan, southeastern part of Korea. The reconstructed GST history shows a cold period in the late 19 century and subsequent warming to the present time. After the cold event, the

GST increased by 1.5K to 1980. We present here GST history reconstructed from temperature measurements in a borehole at Pocheon. The result shows that GST had a cold period in the late 19th century and then increased by about 2 K. GST history reconstructed at Pocheon matches well with the result of Goto et al.( J. Geophy. Eng., 2005) and surface air temperatures (SATs) measured from 1907 to 2001 at the Seoul Meteorological Station. Reconstructed GST history from a borehole at Haman seems to be distorted by groundwater

Roland Wagner (Geowatt AG) , Ernst Rohner

## Improvements of Thermal Response Tests

Email: wagner@geowatt.ch

At present, the ground thermal conductivity at borehole heat exchanger (BHE) array locations is usually derived from Thermal response test (TRT) data. Thermal response tests record the temperature variation of BHE due to fluid circulation. The average change of fluid temperature is directly related to the rock thermal conductivity around the well. The TRT method only provides a mean value of thermal conductivity, averaged over the entire length of the borehole.

A new TRT concept is developed in order to overcome many of the TRT constraints. The new concept is based on temperature measurement over the entire length of the BHE. The temperature data is evaluated by numerical simulation, using a detailed finite element mesh, which maps the BHE and ground geometry as detailed as possible. This concept allows determining the vertical variation of ground thermal properties and groundwater flow and thus provides better estimate of BHE power.

The temperature in the BHE tubes is measured with a small, light, wireless borehole probe which consists of pressure and temperature sensors and a mini-datalogger in a closed aluminium tube, water tight up to 100 bar. The probe (235 mm long, 23 mm dia) sinks in completed borehole heat exchangers (BHEs) through its own weight to the bottom of the BHE U-tubes and records pressure (=depth) and temperature at pre-selected time intervals during descent. After completion of the logging the probe is flushed back to the surface by a small pump where the probe is connected to a laptop computer for data retrieval. The measurement run for a 300 m deep BHE takes less than 60 minutes.

The wireless temperature logging has numerous advantages over cable-type logging. Our instrument has a temperature resolution of  $\pm 0.003K$ .

Norbert Ochmann (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) , Michael Lindenfeld , Paula Barbirye , Christopher Stadtler , Andrej Jakovlev

## **Microearthquake Survey at the Buranga Geothermal Prospect, Western Uganda.**

Email: [norbert.ochmann@bgr.de](mailto:norbert.ochmann@bgr.de)

The BGR supports the Government of Uganda in the geoscientific investigations of the Buranga geothermal prospect since 2004. The objective of the project is to raise the knowledge about Buranga to a level (pre-feasibility status) that can be the base for planning of exploration wells. Geochemical findings, which have been achieved in the framework of the joint project, proofed the existence of a magmatic body that most likely serves as the heat source of the hot springs. Hence the task of geophysical measurements was the detection and delineation of this magmatic intrusion. The known high seismicity (about 300 local earthquakes per month) suggested that Buranga provides excellent pre-conditions to apply seismology. From May 2005 to August 2006 up to 15 seismological stations were deployed to record local earthquakes in the Buranga region. The tomography of the seismic data is expected to yield two results: • delineation of the magmatic intrusion at depth and • delineation of the active faults/fault systems by an exact localization of the hypocenters.

First results will be presented. They will be reinforced and better elaborated when all the data are included. Low velocity anomalies, supposed to represent the magmatic intrusive bodies, are shown in horizontal and vertical sections. Low velocity anomalies correlate with an almost aseismic area within a greater zone with high seismicity.

Thomas Kohl (GEOWATT AG) , Thomas Mégel

## **Numerische Analysen von hydraulischen Stimulationen**

Email: kohl@geowatt.ch

Das Europäische Projekt Soultz-sous-Forêts stellt eine weltweite Referenz für die Erforschung und Entwicklung von geothermischen EGS Reservoiren dar. Zur Erhöhung der Gesteinsdurchlässigkeiten werden hydraulische Stimulationen eingesetzt. In kristallinem Gestein beobachtet man in der Regel eine starke Abhängigkeit der Mikroseismizität mit Fließrate / Dauer der Injektion. GEOWATT entwickelte das Programm HEX-S, welches speziell auf die Bedürfnisse von hydraulischen Stimulationen im geklüfteten Gestein abgestimmt ist. So werden die komplexen Interaktionen von hydraulischen und kluftmechanischen Prozessen, genauso wie die verzweigten Strukturen von Klüftigkeiten und Störungszonen im Untergrund berücksichtigt. Dieses HEX-S eignete sich für die Interpretation der hydraulischen Stimulation um die Bohrung GPK3 vom Mai 2003 und konnte auch erfolgreich für eine Prognose der Stimulation von GPK4 eingesetzt werden. Durch Modellrechnungen und Parametervariationen konnte die Sensitivität auf Kluftgeometrien und Spannungsfeld untersucht werden. Der erfolgreiche Einsatz von HEX-S zeigt, dass man mit neuen Methoden gezielt den Untergrund stimulieren kann. So kann es zukünftig möglich werden, unterschiedliche Injektionsszenarien in einem spezifischen Untergrund zu bewerten. So kann z.B. die mögliche Auswirkung von langandauerndem und zyklischem Verpressen für eine optimierte Reservoientwicklung getestet werden.



Günter Zimmermann (GeoForschungsZentrum Potsdam) , Andreas Reinicke , Guido Blöcher , Harald Milsch , Heinz-Gerd Holl , Inga Moeck , Wulf Brandt , Ali Saadat , Ernst Huenges

## **Well path design and stimulation treatments at the geothermal research well GtGrSk4/05 in Groß Schönebeck**

Email: zimm@gfz-potsdam.de

The technical feasibility of geothermal power production will be demonstrated in the geothermal research wells Groß Schönebeck using a borehole doublet. This task includes safeguarding the thermal fluid cycle and the optimisation of energy conversion technology at the surface. The existing well Groß Schönebeck (E GrSk 3-90) was tested to investigate scenarios of enhancing productivity of thermal fluid recovery from the underground. The forthcoming project is to complete the doublet with a second well (Gt GrSk 4-05) with a total depth of 4400 m. For the development of a maximum effective pay zone the new well is inclined in the reservoir section with 47 degree and was drilled in the direction of the minimum horizontal stress ( $S_h=288$  degree) for optimum hydraulic fracture alignment in relation to the stimulated pre-existing well E GrSk 3-90. Hence the orientation of the fractures will be 18 degree north in the direction of the maximum horizontal stress. The fracture treatment design comprises three fracture treatments, two in the sandstone section (Upper Rotliegend, Dethlingen Formation) and one in the volcanic section (Lower Rotliegend). In the low permeable volcanic rocks it is intend to perform a waterfrac treatment in conjunction with a low proppant concentration to achieve a long-term productivity and a fracture half length of up to 200 m. It was shown previously from treatments in the existing well E GrSk3-90 that the high permeable sandstones did not show a self propping effect. Hence it is planned to perform two gel proppant treatments in the

sandstones to maintain long-term access to the reservoir. The aim of this paper is to present a line of argument for a decision guidance concerning the well path orientation and the optimum design for fracture treatments in the different reservoir sections.

Klaus Bauer (GFZ Potsdam) , Albrecht Schulze , Michael Weber , Inga Moeck

## **Seismic profiling across the geothermal site at Gross Schoenebeck, Northeast German basin (I-GET project)**

Email: klaus@gfz-potsdam.de

I-GET is an European Union funded project to develop integrated geophysical exploration methods for fractured and/or fluid bearing geothermal reservoirs. The methods are tested at exemplary sites in volcanic, metamorphic, and sedimentary environments in European key regions for enhanced geothermal systems under development. We present results from the geothermal site at Gross Schoenebeck located in Brandenburg, North of Berlin. The target horizons for a middle enthalpy geothermal system consist of Rotliegend sandstones and volcanic rocks at depths between 3.9 and 4.4 km. These were formed during the initial stages of the developing Southern Permian basin.

Seismic and magnetotelluric methods are used to explore the sedimentary and tectonic setting, and to identify regions of high porosity and potential fluid pathways. The seismic experiments which are subject of the presentation were carried out in two parts: (1) A 40 km long profile was conducted to derive a regional 2-D seismic model of the potential reservoir layers and overlying sediments. The profile is oriented parallel to the estimated strike of the regional stress field. (2) A star-like arrangement consisting of 4 profiles each of 6 km length was deployed and a low-fold 3-D seismic experiment was conducted to identify potential fluid pathways around the geothermal well location.

The development of a seismic model along the NS running profile is presented. Data processing is particularly supported by 3-component covariance matrix polarisation analysis to increase the measured low signal-to-

noise ratios. Initial modeling is based on first arrival travel time tomography providing a P wave speed model with intermediate resolution. This is followed by finite difference forward calculations to test the full wave forms predicted by the travel time tomography results. At this stage, the attenuation of P waves is estimated and introduced to the model in order to fit the variations of the first arrival amplitudes with offset. Full wave form inversion is used to further develop the P wave speed model, reaching increased resolution compared with the travel time tomography. Reflection seismic data processing provides the complementary structural information for the geological interpretation of the cross section. This is further supported by incorporation of pre-existing 2-D seismic data and borehole information.

Christoph Clauser (Angewandte Geophysik, RWTH Aachen)

## **Influencing factors for the desirability of geothermal energy**

Email: [c.clauser@geophysik.rwth-aachen.de](mailto:c.clauser@geophysik.rwth-aachen.de)

Whether renewable or not, different sources of energy are primarily judged by their economics. Since the second half of the 20th century this has been defined mostly by the price of hydrocarbons, in particular of crude oil. Equally important is the regulatory framework by which the use of different sources of energy may still be controlled in a market society. This way preference may be granted according to factors such as environmental compatibility, nationally available resources, existing suppliers, and employment. The impact of both the price of hydrocarbons and the regulatory framework on the price of thermal and electric energy is discussed for past and current conditions in Germany.

Andreas Reinicke (GFZ Potsdam) , Björn Legarth , Günter Zimmermann , Sergei Stanchits , Ernst Huenges , Georg esen

## **Hydraulic Proppant Fracturing and Formation Damage in a Geothermal Sedimentary Reservoir**

Email: [Andreas.Reinicke@gfz-potsdam.de](mailto:Andreas.Reinicke@gfz-potsdam.de)

Hydraulic Proppant Fracturing (HPF) is a standard technology in the hydrocarbon industry for more than 30 years to increase the productivity of a reservoir and to overcome effects of formation damage and low rock permeability. In 2002 a HPF treatment was applied to the Rotliegend sandstone aquifer of the geothermal research well Gross Schoenebeck 3/90. The site is located north of Berlin. The initial productivity of this well was significantly lower than expected from core measurements due to near wellbore damage. Therefore it was stimulated with 11 tons of ceramic proppants and over 200 m<sup>3</sup> of high viscous gel. Simulations had predicted a productivity increase by a factor of 7-8, but the productivity was only doubled due to different reasons. The HPF treatment was followed by several massive water injection treatments (Water Fracturing, WF) in the years 2003/2004. Due to the WFs the productivity was enhanced by a factor of 8 compared to initial value.

One possible cause for missing the productivity goal during first stimulation is permeability damage at the fracture face due to embedment of proppants into the rock matrix and crushing of grains as well as fines production and migration. To investigate this issue in more detail a new laboratory equipment was set up which allows determination of permeability of proppant pack and proppant rock interface simultaneously under increasing effective stress. For location of micro cracking of proppants and grains acoustic emission (AE) activity can be recorded during test execution. Tests show that proppant

and rock crushing lead to considerable generation of fines and a clear permeability reduction by a factor of 2-10 at the fracture face under increasing effective stress. The AE events indicate that grain crushing and proppant embedment start at low effective stress (5 MPa) at proppant rock contact. Up to effective stress of 50 MPa the main AE activity is located at the fracture face. In this area fines are generated, flow paths get blocked and permeability is damaged. This mechanical induced flow impairment or so called Fracture Face Skin (FFS) at the rock proppant contact effects reservoir productivity significantly and is one reasonable explanation for missing the stimulation goal of the HPF treatment. In addition this initial FFS can act as a filter for migrating fines during long term production resulting in a continuous increase of the thickness of the FFS zone and a continuous reduction of productivity.

J.F. Wellmann (Universität Mainz) , T. Charissé , Eva Schill

## **Uncertainties associated with 3D geological modeling of fault-dominated geothermal fields (Upper Rhine Graben)**

Email: wellmann@students.uni-mainz.de

From the geologic point of view, major challenges in 3D geological modeling for geothermal resource analysis exist. A major problem is the lack of data in the typical depth of potential reservoirs ranging from about 2000 to 6000 meters in the case of Enhanced Geothermal Systems (EGS). There is only little knowledge concerning structures and geometries and deep drillhole data is sparse. Furthermore, faults dominate the structural set-up and lead partly to large offsets of geological formations. Uncertainties of the structural model based on these limitations have to be analyzed before optimizing the model with geophysical inversion methods.

We use 3DGeoModeller (Intrepid Geophysics) for structural modeling with the implicit potential-field method and geophysical inversion. Input data are field measurements, data taken from geological maps, published cross-sections and boreholes.

We address the problems described above and test the effect of varying input data types and data density. The derived 3D structural model is self-consistent and provides an accuracy indication for the model application in geothermal reservoir analysis.

Wolfgang Jacoby (Geowissenschaften, Uni Mainz) , Ólafur Flóvenz , Herbert Wallner

## **The use of geothermal energy in Iceland – an overview**

Email: jacoby@uni-mainz.de

Iceland owes its existence on the Mid Atlantic Ridge to a surplus of heat advected by a mantle plume. A volcanic rift zone, a landward continuation of the central part of the Mid-Atlantic Ridge, crosses the island from SW to NE. In the volcanic rift zones heat transfer in the upper crust is largely convective so conductive heat flow is disturbed accordingly. Geothermal fields result from up-welling hot fluids reaching the surface as hot springs, fumaroles and solfataras. They have been used on small scales since Iceland was inhabited. Their products include sulphur which was mined and exported.

In Iceland high-temperature (HT) geothermal fields are associated with active volcanic systems. Some of them are already exploited (Krafla, Nesjavellir, Hellisheiði, Svartsengi, Reykjanes), but others are at the stage of exploration drilling (Þeistareykir, Bjarnarflag, Trölladyngja). The HT fields are mostly used for electric power generation but partly for space heating and complementary uses. At the end of the year 2006 the installed geothermal electrical power was close to 410 MW. At present, the HT-fields are exploited down to 2.5 km but there are plans now to drill to 5 km and reach supercritical condition that might 5-10 fold increase the energy output per well.

On the older crust, low-temperature systems (LT) are common. They are found at locations where recent fracturing has created secondary permeability in otherwise impermeable basaltic crust. The LT systems have long been used on small scales for hot swimming pools, house-heating (even for cooking) and greenhouses. The geothermal district heating system of Rey-

kjavik was established in 1928. It was exclusively based on three LT geothermal areas until 1990, when hot water production started in the HT co-generation plant at Nesjavellir. The co-generation of heat and electrical power lowers the production cost considerably. It is common to use the 30-40°C hot waste water from the house heating systems for snow-melting on pavements and parking places and occasionally on streets.

Akureyri has a geothermal district heating system from geothermal fields 10-20 km away from the town. Húsavík gets its thermal waters also from a 128°C hot remote geothermal source. The hot water is first used to produce around 2 MW of electricity in a binary power plant using the Kalina cycle. The 80°C hot effluent from the power plant is then used for space heating and industrial drying. Greenhouses are associated with many LT areas as Hveragerði, Flúðir, and supply Iceland with vegetables and flowers.

The use of geothermal heat is so diverse that only a brief overview of past, present and future potential activity can be given with maps, tables and few examples. Typical aspects are listed and discussed, as problems (mineral deposition in wells, over-exploitation, volcanic and seismic risks), precautions (monitoring) and advantages (clean energy, independence from import). The overview includes the available potential and a comparison with the use of hydro power (harnessing of glacial rivers Þjórsá, Blanda, Jökulsá á Dal). Both energy sources supply much more than is needed in Iceland. The only feasible way to export energy is in the form of aluminium

produced with electricity from imported bauxite. A submarine electrical cable to the mainland of Europe might be feasible in the future. Enormous efforts are presently being made in developing both resources. However cautions have to be taken not to harm the unique nature of the country in an irreversible way by power production.

Eckart Hurtig (GESO GmbH, Jena) , Stephan Großwig , Stephan Lundershausen , Christoph Herzog , Andrea Senze

## **The drillhole RWTH-1 Super C Aachen: development of the temperature field**

Email: hurtig.geso\_teltow@t-online.de

The drillhole “RWTH-1“ Aachen was drilled in 2004 and will be completed as a deep borehole heat exchanger and will be part of the heat and cold supply system of the service center SuperC of the RWTH Aachen. It was planned to measure and control the temperature field during the operation of the deep borehole heat exchanger. The distributed fibre optic temperature sensing presents a method to measure simultaneously the temperature along the whole length of the well with a high space and time resolution. Using this measuring technique it was decided to measure and monitor the temperature of the circulating fluid during the operation of the deep borehole heat exchanger both in the annulus and inside the withdrawal string. Furthermore, it should be possible to measure the temperature in the cemented annulus outside the casing to determine heat exchanging processes between the rock formations and the circulating fluid especially in the upper section of the well. For this purpose a fibre optic temperature sensing cable was installed and cemented in the outer annulus of the casing. This installation offered the unique chance to measure the temperature before, during and after cementing the casing simultaneously along a borehole section from the surface down to a depth of about 600 m with a space resolution of 0,5m. The measurements were done every 2,5 minutes over a time period of 30 hours. The fine-structure of the temperature vs. depth distribution during the cementation is controlled by the geology and hydrology of the drilled rock formations, by the

variations of the borehole diameter (caliper variations) and technical effects of the borehole completion. Effects are measured which only can be obtained in the phase of the extreme instantaneous thermal conditions during the setting process of the cementation but which will be important to understand effects when operating the deep borehole heat exchanger. After the cementation was finished a fibre optic temperature sensing cable was installed in the open not yet finally completed well down to the final drilling depth of about 2.500m to measure the process of temperature equilibration. These measurements were done at selected dates over a time period of about 2 years. Thus, the true formation temperature is well known presenting the initial thermal conditions for assessing and controlling the temperature development vs. time and depth during the operation of the deep borehole heat exchanger. The results show that fibre optic temperature sensing is an important tool to assess and control the temperature field in geothermal wells.



Katharina Becker (Universität Frankfurt) , Georg Rümpker , Klaus Bauer , Michael Weber

## **Anisotropic Seismic Modelling within the I-GET Project**

Email: kbecker@gfz-potsdam.de

The European project I-GET (Integrated Geophysical Exploration Technologies for Deep Fractured Geothermal Systems) aims at developing new geothermal exploration strategies to improve the detection of fluid-bearing zones in fractured geothermal reservoirs. Groß Schönebeck, a geothermal site within the North-East German Basin, represents a deep sedimentary reservoir with a borehole currently used as an in-situ geothermal laboratory. Groß Schönebeck forms the center of a seismic experiment, that comprises a 40 km long N-S profile in addition to four 6 km long profiles in a starlike arrangement.

In this study we investigate possibilities to infer fracture orientation from P to S converted seismic phases that may originate from the top of fractured reservoirs. In our model we consider the reservoir to be characterised by a layer of vertically oriented cracks. This layer exhibits TI elastic properties and starts at a depth of about 4 km. Initially, the upper part of the model is considered purely isotropic. The modelling shows that the resulting isotropic-anisotropic interface may cause significant SH reflections - even for incident waves that are purely longitudinal. The amplitude of this “anomalous“ SH phase depends on the orientation of the (horizontal) TI symmetry-axis with respect to the profile and the angle of incidence.

We perform amplitude versus offset studies based on synthetic seismograms for different orientations of the symmetry axis in the cracked medium. The model is defined to match the se-

tup of the seismic experiment along the 40 km profile at Groß Schönebeck. The anomalous phase is not generated for special cases, where the symmetry axis is oriented either parallel or perpendicular to the profile. For other orientations the SH reflections are most significant near the critical angle at distances between 5 and 15 km from the source. The synthetic calculations form the basis for developing polarization analysis to detect the SH reflections. A further goal is to infer properties of the cracked layer such as fracture orientation and fracture density from observations of anomalous SH phases.

Andreas Koch (RWTH Aachen University) , Rachel Jorand , Renate Pechinig , Darius Mottaghy , Christoph Clauser

## **Use of Exploration Wells to Improve Geothermal Reservoir Models**

Email: a.koch@geophysik.rwth-aachen.de

The large sedimentary basins and graben structures in Germany are regions of general interest for geothermal heat use. In our study we focus on two target areas: the eastern part of the Molasse Basin in Southern Germany and the southern and western part of North Rhine Westphalia (Niederrheinische Bucht / Rheinisches Schiefergebirge). The former is a current target of geothermal exploration; the latter has a great potential demand for geothermal energy due to its high population density. A major obstacle in geothermal energy development lies in the high risk of failure due to the unknown thermal and hydraulic properties of the target rocks at depth. In order to improve this situation, we systematically study data sets from different exploration wells (oil, gas, carbon, research boreholes) and laboratory studies on core samples. Our aim is to develop methods for rock property mapping on the reservoir scale and thus obtain better models for geothermal installations in the planning stage. For this purpose, we apply a combination of laboratory measurements and well log interpretation. Petrophysical properties measured in the laboratory on a representative collection of samples obtained from boreholes and outcrops comprise thermal conductivity and diffusivity as well as porosity and permeability. Additionally, we consider the effects due to variations of temperature and pressure increase with depth. Logging data add information with respect to spatial variations, on the one hand through relationships between core and wireline measurements, on the other hand by delineating regions of different petrophysical facies types.

Renate Pechinig (Geophysica Beratungsgesellschaft mbH Aachen) , Darius Mottaghy , Andreas Koch , Rachel Jorand , Christoph Clauser

## **Prediction of Thermal Properties for Mesozoic Rocks of Southern Germany**

Email: r.pechnig@geophysica.de

In general, the variation for thermal rock properties is too large to constrain thermal characteristics at a specific site. To improve this situation, this project will provide statistically relevant data of thermal and hydraulic properties for the subsurface of Germany. In a first stage, a large number of mesozoic rock samples from the South-West German Molasse basin was studied: About 280 core samples were tested by thermal and petrophysical core scanning yielding high resolution information on thermal conductivity, density, porosity and sonic velocity of the rocks in dry and saturated condition. In addition, 100 core plugs were taken for measurements of specific heat capacity and hydraulic permeability and for XRD and XRF analyses. Thus, thermal properties could be related to the petrophysical characteristics and to the mineralogical and chemical rock composition. The geometric mixing law was confirmed as a fast and robust estimator for thermal conductivity, especially for limestones and dolomites regardless of their stratigraphic age and genetic origin. In a more sophisticated approach, the data were further used to compare and to calibrate theoretical models for thermal conductivity prediction. Rock type specific parameters were determined describing the relations between rock matrix, porosity, rock morphology, and the effective thermal conductivity. This grouping by rock type and rock generation allows an enhanced prediction of thermal properties of the mesozoic strata of German sedimentary basins.

Petr Dedecek (Geophysical Institute Prague) , Jan Safanda , Vladimir Cermak , Milan Kresl

## **Long-term monitoring of the air-ground temperature coupling under the different surface conditions - the four years completed**

Email: pd@ig.cas.cz

We present results of four years continuous soil temperature monitoring under different surface conditions represented by grass, barren soil, sand and asphalt. The experimental plots on the grounds of Geophysical Institute Prague (50° 02' 27'' N, 14° 28' 39'' E, 274m a.s.l.) were established and the monitoring launched in June 2002. Soil temperatures at depths of 2, 5, 10, 20 and 50 cm below the ground surface, air temperatures at 5 and 200 cm above the ground and soil moisture are recorded every 5 minutes together with a registration of precipitation and snow cover. The temperature series observed in the individual soil levels are used for a detailed examination of changes of the soil thermal diffusivity caused by variations of soil moisture, soil density and the temperature itself.

The highest mean annual air surface temperature (SAT), 10,44C, was observed in the year 2006, mostly due to very warm September – December period (Sep-Dec means attained 7.14C, 8.00C, 8.03C and 10.41C in the years 2003, 2004, 2005 and 2006, respectively). The annual means for years 2003, 2004 and 2005 amounted to 10,21, 9,87 and 9,9, respectively. It means, that the year 2006 was warmer by 0,23C than the second warmest year 2003. Not so for the ground surface temperatures (GST), where the ranking changes with a type of the surface. Whereas under bare soil the ranking is the same as for air – the warmest year 2006 (11.74C) followed by 2003 (11.46C), the mean annual GST in the depth of 2 cm under the sand and asphalt was highest in the year 2003 followed by 2006 (sand 2003 – 12,27C, 2006 – 12,17C, asphalt

2003 – 14,98C, 2006 – 14,44C). We discuss possible explanations of these differences.

The obtained results reveal complicated relations between GST and SAT not only on the seasonal, but also on the interannual time scales, when a year to year increase in the mean annual SAT is accompanied by a decrease in the mean annual GST depending on the type of the surface.

Seong-Kyun Kim (Seoul National University) , Gwang-Ok Bae , Kang-Kun Lee , Byoung-Ohan Shim , Yoonho Song

## **Sensitivity Analyses of Heat-Transfer Simulations in a Closed-Loop Geothermal Heat-Pump System**

Email: kskinc@hanmail.net

Using TOUGH2, widely accepted three-dimensional numerical simulator for heat and water flow in geothermal systems, we perform sensitivity analyses about the factors that can have an effect on a closed-loop geothermal heat-pump (GHP) system. Parts of closed-loop GHP system in the ground consist of boreholes that are made up of heat carrier fluid that circulates the borehole, pipes that envelop the heat carrier fluid, and grouting that packs the borehole. Those factors affecting the heat transfer of the GHP are thermal properties (thermal conductivity and heat capacity) of the solid media (pipe and grouting) comprising the GHP, velocity of the heat carrier fluid, borehole length, position of pipes in the borehole, hydraulic properties of the grouting, thermal and hydraulic properties of the aquifer, ground surface temperature, and temperature profile in the ground. Some of these factors can be changed by time, locations or types of heat pump system. Also there are some possibilities that we cannot have or can have wrong measurements about those factors. In this study, a three-dimensional numerical model that is verified by using the geothermal data at Daejeon, Korea is applied for generating the synthetic data. These synthetic data are used to determine the short-term and long-term sensitivity of the GHP outlet temperature to those factors. Detailed discussion on the sensitivity analyses will be presented.

Darius Mottaghy (Geophysica Beratungsgesellschaft mbH) , Lydia Dijkshoorn

## **Implementing a new effective finite difference formulation for borehole heat exchangers into a heat transport code**

Email: [d.mottaghy@geophysica.de](mailto:d.mottaghy@geophysica.de)

We present an effective finite difference formulation for implementing multiple, coaxial ground heat exchangers (GHE) in a coupled heat and flow transport model SHEMAT. The new approach is presented in an accompanying poster. It does not require the fine discretisation of the GHE assemblage since it considers heat transport between fluid and the soil through pipes and grout via thermal resistances. Therefore, the simulation time can be significantly reduced.

The coupling with SHEMAT is realised by introducing an effective heat generation. Due to this connection, it is possible to consider an arbitrary, heterogenous geologic model, as well as the influence of groundwater flow. This is particularly interesting when studying the long term behaviour of a single GHE or a GHE field. The model is validated against an existing GHE modelling code which has been proved and tested before. Synthetic examples demonstrate the field of application of this model.

Margarete Vasterling (TU Bergakademie Freiberg), Ralph-Uwe Börner, Klaus Spitzer

## Formation and detection of electric anisotropy in artificially fractured rocks

Email: [Margarete.Vasterling@student.tu-freiberg.de](mailto:Margarete.Vasterling@student.tu-freiberg.de)

Within a feasibility study on the use of supercritical CO<sub>2</sub> (scCO<sub>2</sub>) as carrier fluid for a Hot-Dry-Rock power plant in Germany, the electrical properties of a hydraulically fractured zone are to be explored using downhole DC resistivity methods.

The setup of such a plant consists of one injection and one production well both of which are being used for the fracture experiment. The fractures are assumed to open in predominantly one direction governed by local/regional stresses, the rock's texture and the experimental design of the fracture test. The fluid-filled, preferential fracture system is expected to appear electrically anisotropic on a macroscopic scale which may be exploited for the detection and characterisation of the system. Therefore, our modeling experiments focus on electrically anisotropic domains representing the fractured volume.

Bibby (1977) presented a surface dc resistivity method for detecting anisotropy by observing vector components of the electric field. By combining two non-parallel cross-hole dipole-dipole measurements, one is able to obtain information on the principal resistivities and a parameter describing the apparent anisotropy.

Moreover, we investigate possibilities of classical single-hole configurations (normal) to detect anisotropy.

Since the electrical properties of scCO<sub>2</sub> are barely known, we model scenarios with resistive and conductive pore fluids. However, we tend to a resistive characteristic as we assume the supercritical fluid to be rather similar to gas. Still,

the conductive case may become relevant if the fracture experiment was performed using saline fluid, being replaced for production later on.

Literature:

Bibby, H.M., 1977. Short Note - The Apparent Resistivity Tensor, *Geophysics*, Vol. 42, No. 6, p 1258-1261

Gerard Munoz (GeoForschungsZentrum Potsdam) , Oliver Ritter , Thomas Krings

## **Magnetotelluric measurements in the vicinity of the Groß Schönebeck geothermal site**

Email: gmunoz@gfz-potsdam.de

The EU funded project I-GET is aimed at developing an innovative strategy for a geophysical exploration of (geothermal) deep water systems. The strategy is to integrate all the available knowledge, from rock physics to seismic and magnetotelluric (MT) data processing and modelling. For geothermal exploitation, the detection of permeable zones and fluid bearing fractures is crucial. The magnetotelluric (MT) method is a natural-source electromagnetic method capable of imaging the subsurface electrical conductivity down to depths of several kilometers. Since electrical conductivity depends strongly on the presence of fluids, the magnetotelluric method is a very promising exploration technique for geothermal reservoirs. The Groß Schönebeck deep sedimentary reservoir is representative for large sedimentary basins all over Europe. A deep borehole is currently used as an in situ geothermal laboratory. The main objective of the geophysical site characterization experiments is to develop high resolution electrical conductivity images together with seismic tomographic models for a joint interpretation. In this work we present results of the first MT experiments carried out in summer 2006. In this first phase of the experiments, MT data was collected along a 40 km-long profile. Data was collected at 58 stations with a site spacing of 400 m in the central part (close to the borehole) of the profile, increasing to 800 m towards the profile ends. The period range of the observations was 0,001 to 1000 s. At all sites, we recorded horizontal electric and magnetic field components and the vertical magnetic field. The first

models obtained from 2D inversion show a prominent conductive layer along the entire profile extending from depths of approximately 1 km in the south to 2.5 km in the northern part. This highly conductive zone seems to coincide generally with the sedimentary layers of the Mesozoic. The model reveals furthermore two areas, to the south and north of the borehole, where the high conductivity appears to reach greater depths.



Iulia Ghergut (Applied Geology Group, University of Göttingen) , Horst Behrens , Tobias Licha , Martin Sauter

## **Comparative evaluation of tracer tests in deep crystalline and sedimentary, candidate geothermal reservoirs in Germany**

Email: iulia.ghergut@geo.uni-goettingen.de

Fluid residence times and fluid-rock contact-surface area(s) available for heat exchange are important parameters in geothermal reservoir design and prediction. To determine them, tracer tests are indispensable. Hydraulic and geophysical investigation methods provide no, or only limited access to these parameters, because the signals on which hydraulic or geophysical test methods rely do not depend on, or do not correlate unambiguously with fluid motion and with solute or heat fluxes across fracture surfaces. Fluid temperature variations accompanying injection or production do in principle reflect these parameters, but high thermal diffusivities usually make temperature signals rapidly reach quasi-equilibrium values, obliterating parameter dependencies.

For deep (candidate) geothermal reservoirs in Germany, fluid spiking experiences are not very numerous. A deep-reservoir spiking campaign conducted by the Göttingen University's Applied Geology Group since 2003 comprised several single-well push-pull tracings, as well as one single-well and one inter-well flow-path tracing, in crystalline (KTB, Urach) and sedimentary (Horstberg) formations in 4km depth. Besides their generic contribution to understanding processes associated with fluid transport in the deep crust, these tests' main endeavor was to assist in quantitatively evaluating hydraulic stimulation measures - which were either short-term, high-rate (Urach, Horstberg) or long-term, moderate-rate (KTB); further it was hoped that, via the integral parameters they usually provi-

de, tracer tests would reduce the dependency of characterization and prognosis tools upon the availability of detailed discretizing site models and powerful numerical solvers. A subsidiary aim of these tracer tests was to probe the behavior of a number of organic tracers, a priori believed as good, under the physicochemical conditions of target formations (>100 deg.C, saturated brine, very low redox potential, broad pH range), and, last but not least, to improve tracer test execution skills under specific geothermal site constraints.

At the German Deep Continental Drilling, known as the Kontinentale Tiefbohrung (KTB) in the crystalline basement, it was possible to perform solute and heat push-pull tests in the depleted state (2004), the stimulated state (2005a), and the early post-stimulation state (2005b), with a late outflow phase (2006) in the still weakly pressurized, late post-stimulation state of the 4-km-deep fracture network at the pilot KTB hole. The change in specific fracture-surface areas (or fracture densities), derived from fitting a parallel-fracture, radial flow and transport model to the measured heat and solute push-pull signals, indicates that the prevailing effect of long-term, moderate-rate, cold-fluid injection was to enlarge pre-existing fractures, rather than creating new ones - despite some expectations that cooling-induced cracking would be prevailing.

At the Horstberg site in the Northern-German sedimentary basin, a former gas exploration borehole is available for geothermal research

and for testing various heat extraction schemes (Jung et al., 2005) in supra-salinity horizons. After various hydraulic and stimulation tests (2003-2004) not accompanied by fluid spikings, a combined hydro-mechanical and tracer testing campaign was started in late 2004. Using the hydro-frac technique, a large-area fault was created in the heterogeneous formation at 3.8 km depth, comprising two sandstone layers separated by less permeable, clayey sandstone layers (with a total thickness of 120 m). Assuming that the induced fault will maintain sufficient permeability over time (without the need for proppants), and that the same result can be achieved at many other similar formations in the Northern-German sedimentary basin, a low-cost single-well, two-layer circulation scheme (described by Jung et al., 2005) is endeavoured for heat extraction by the GGA and BGR Institutes (Hannover). In order to better characterize flow in the induced fault, a single-well flow-path tracing was conducted in early post-stimulation state by spiking the fluid injected at the lower horizon and sampling the fluid produced from the upper horizon, with expectably high tracer dilution due to the divergent flow field. After a 1.5-year shut-in phase, short outflow phases from both the production and the former injection horizon yielded further information, of both flow-path and push-pull type; tracer analytics for these late breakthrough signals is under completion. Extrapolated tracer recoveries from the early test phase showed that up to 12

Good knowledge of the tracers physicochemical behavior under given reservoir conditions, sensitive and reliable tracer analytics are prerequisite for the correct interpretation of test results. Major differences between BTCs of several simultaneously-injected organic tracers, as seen in the KTB and Horstberg tests, far beyond what one would expect by their different molecular diffusion, graphically demonstrate the need for more research on these issues.

During the forthcoming stimulation (short-term) and hydraulic (short-, mid- and long-term) tests at a new borehole (GroßSchönebeck-4) in the Northern-German sedimentary basin, single-well fluid spikings at 4 different stages and 1 inter-well flow-path tracing are planned, all tests more or less overlapping with each other. For a correct interpretation of these tests, at least 3 conservative solute tracers should be available; moreover, their analytics should be able to meet reasonable detection limits in saturated brine, for the necessary tracer quantities to inject not to become prohibitive.

Michael Kühn (RWTH Aachen University, Applied Geophysics) , Martin Back , Christoph Clauser , Helge Stanjek , Stefan Peiffer

## **Mineral trapping of CO<sub>2</sub> in operated hydrogeothermal reservoirs**

Email: [m.kuehn@geophysik.rwth-aachen.de](mailto:m.kuehn@geophysik.rwth-aachen.de)

Storage of carbon dioxide by precipitation of carbon-bearing minerals in geological formations is, on the long run, more stable and therefore much safer than direct storage or solution trapping. Among available options for CO<sub>2</sub> sequestration those are particularly attractive which offer additional economic benefits besides the primary positive effect for the atmosphere, such as the novel approach of storing dissolved CO<sub>2</sub> as calcite in managed geothermal aquifers. Hydrogeothermal energy in Germany is mainly provided from deep sandstone aquifers by a so called “doublet” installation consisting of one well for hot water production and one well for injection of the cooled water. When cold brines are enriched with CO<sub>2</sub> and injected into an anhydrite bearing reservoir this mineral dissolves. As a result, the water becomes enriched in calcium ions. Numerical simulations demonstrate that dissolved Ca and CO<sub>2</sub> react to form and precipitate calcium carbonate provided that alkaline buffering capacity is supplied from plagioclase in the reservoir rock or by surface water treatment with fly ashes. We show that anhydrite dissolution with concurrent pore space increase is important to balance pore space reduction by precipitation of calcite and secondary silicates. Laboratory experiments prove the feasibility of transforming anhydrite into calcite and provide necessary kinetic input data for the modelling. Suitable geothermal reservoirs exist, which contain sufficient anhydrite as matrix mineral and plagioclase for supplying alkalinity. Mass balance calculations performed with respect to the anhydrite and feldspar content show, that for an

assumed operation time of 30 years, the theoretical storage capacity is significant: millions of tons of CO<sub>2</sub> can be trapped as calcite in geological formations used by geothermal heating plants.

Michael Kühn (RWTH Aachen University, Applied Geophysics) , Hansgeorg Pape , Volker Rath , Andreas Wolf , Christoph Clauser

## **Interaction of a multi-fractured rock system with fluid flow, mass and heat transport, and chemical reactions**

Email: [m.kuehn@geophysik.rwth-aachen.de](mailto:m.kuehn@geophysik.rwth-aachen.de)

We simulate the complex geochemical and hydrothermal interactions in enhanced geothermal systems. Special difficulties arise from the hierarchical structure of fracture systems which extends over several orders of magnitude. To a large extent the system of faults and large fractures is responsible for fluid flow. The large fractures represent only a small portion of total void space, whereas the main portion resides in minor cracks and microfissures. These form therefore a reservoir for dissolved chemical species. With respect to computing economy it is not possible to use such a fine spatial discretization that minor fractures are resolved. Therefore, the numerical simulations are performed primarily for the large fractures. For each cell and each time step the mass exchange with the minor fracture and fissure networks, involving fluid flow and diffusion, is calculated with a so-called box model.

Eva Schill (Mainz/Institut für Geowissenschaften) , Thomas Kohl

## **Improved assessment of exhumation rates in the Alpine orogen using 3D numerical temperature model and fission track data**

Email: [schille@uni-mainz.de](mailto:schille@uni-mainz.de)

Exhumation rates estimated from fission-track ages are generally derived using the mean geothermal gradient of 30°C/km in the continental crust. This approach reflects a 1D assumption to account for cooling rate and temperature gradient. The temperature gradient at depth is, however, a function of the exhumation rate itself and it also may depend on interactions of the subsurface temperature field with near surface effects. Recent approaches to correct the uncertainties associated with exhumation rate dependency and topography improve the determination of the paleo-isotherms at depth. Here, we reassess the exhumation rates determined from apatite fission track data collected in the central parts of the Swiss Alps. Special emphasis is given to the impact of the complex interplay of various thermal transport mechanisms and topography deforming the paleo-isotherms. The basis for this investigation was a well calibrated 3D numerical model covering an area of 50 x 30 km used originally for predicting tunnel temperatures of a new deep Alpine traverse which is characterised by a near-surface uplift rate of 1 mm/a and by high topographical variations exceeding 2500 m, associated with strong variation of surface temperature. Temperature effects arising from Pleistocene Ice Age and near surface advection effects have also been considered. The exhumation rates are determined by a method which provides an iterative solution for the depth of the apatite blocking temperature. By updating the exhumation rate after each step this scheme iterates between a numerical model of assumed uplift rate and a purely

geometrical velocity model accounting for the pathway during the apatite cooling age. Thus, by assuming today's topography during the cooling age an improved exhumation rate is achieved. At the selected Alpine location the calculated exhumation rates averaged over the last several million years agree quite well with today's data from geodetic measurements. The calculations show differences exceeding 30% compared to exhumation rates determined by simple 1D models. Topography has the strongest effect at locations situated in narrow deep valleys.

Jessica Bublitz (Universität Hamburg) , Florian Wellmann , Eva Schill , Matthias Hort

## **Optimisation of 3D geological models for geothermal prospection using geophysical inversion methods (Soultz-sous-Forêts, France)**

Email: smileyjb@chefmail.de

In the field of geothermal prospection, 3D geology is considered a basic tool for the investigation of geothermal resources and reservoirs. Our study is part of a major project on general geothermal resource analysis in the Upper Rhine Graben. The aim of the study is the optimisation of 3D geological models using geophysical inversion tools with special focus on fractured zones. The input model for the inversion calculations is a complex 3D geological structural model of the geothermal field at Soultz-sous-Forêts in the French Upper Rhine Graben (7.7°-8.0°N and 48.9°-49.1°E). In this area the structural setting is dominated by mainly N-S trending faults parallel to the main graben structure. The geological model is calculated using a potential field approach treating geologic interfaces as equipotential surfaces and orientation data as gradient of the field. An optimisation of the calculated model can be achieved using inversion of magnetic and gravimetric potential field data. For both, the geological modelling and geophysical inversion, the software package “3D Geomodeller” is used. Prior to the inversion, both a parameter analysis of density and magnetization values and the effect of varying structural geometry have been investigated. The results provide an insight into the geophysical data density and data distribution necessary to investigate Enhanced Geothermal System (EGS) reservoirs at a depth between 2000 and 6000m.

Mario Mürmann (RWTH Aachen University) , Michael Kühn , Robert Meyer , Christoph Clauser , Roland Wagner , Volker Meyn

## **Anhydrite cementation patterns on the core scale**

Email: [m.muermann@geophysik.rwth-aachen.de](mailto:m.muermann@geophysik.rwth-aachen.de)

Porosity and permeability of hydrothermal reservoirs can be significantly reduced by anhydrite cementation. This may prevent an economical use of hot water produced by geothermal installations. The Allermöhe 1 borehole (Hamburg), which was deepened 1997 represents an example of a failed attempt to use hydrothermal energy. Although thickness and temperature of the tapped Rhaetian Sandstone are favourable for geothermal energy use, the pore space with its original porosity of 20 Core samples from the Allermöhe 1 borehole show a spatially periodical cementation pattern of anhydrite. To determine the processes responsible for the spatial extent of these patterns, core-flooding experiments were conducted under reservoir conditions of temperature and pressure. These experiments are the base for numerical reactive transport simulations. Because it is well known from previous studies that precipitation occurs preferentially in large and not in small pores, we use a high-resolution spatial grid to map a 3D permeability and porosity distribution. Results demonstrate that the cementation patterns correlate with porosity, permeability and gradients of concentration and temperature. These form the base for numerical models on the reservoir scale.

Manuel Blumenthal (Angewandte Geophysik RWTH Aachen) , Michael Kühn , Hansgeorg Pape , Volker Rath , Christoph Clauser

## **Numerical simulation of a tracer test from the EGS test site Soultz-sous-Forêts in France**

Email: [m.blumenthal@geophysik.rwth-aachen.de](mailto:m.blumenthal@geophysik.rwth-aachen.de)

Within the European Hot-Dry-Rock research project at Soultz-sous-Forêts in France a tracer test was performed in 2005 to study the hydraulic system of the reservoir. It is used to calibrate a model for predictive simulations of the long-term behaviour of the reservoir. The enhanced geothermal system in Soultz-sous-Forêts comprises three wells, which are aligned in North-South direction: GPK3 in the centre is the injection well, GPK2 and GPK4 are the production wells, each 600 m apart from the injection well. They reach a depth of approximately 5000 m, where temperatures of 200 °C are measured. Granite is the dominating rock type within the reservoir. Two nearly vertically dipping fracture families pervade the granite. They strike North-North-West and North-West. The granite is altered to a variable degree along the fracture zones by formation waters. The hydraulic connection between GPK3 and GPK4 is weak, probably due to a highly altered fracture between these wells, which lies most likely parallel to the North-North-West striking fracture family. Mechanically damaged zones around the wells result from hydraulic stimulation. Based on this concept a numerical 2D model was built. Additional to the three features: (1) fracture families, (2) highly altered fracture and (3) mechanical stimulated zones a direct hydraulic connection between the three wells is assumed by (4) a single conductive fracture. Results demonstrate that the fracture families do not influence significantly the tracer breakthrough. The different tracer curves, measured at GPK4 and at GPK2

are partially ascribed to different pumping rates at the production wells. The highly altered and conductive fracture leads to the drainage of the tracer and therefore the detected concentration at GPK4 decreases. The mechanically stimulated zones around the wells are required to simulate the characteristic tailing of the tracer breakthrough. The porosity of these zones determines how distinct the tailing is. The higher the porosity of the stimulated zones the more tracer material diffuses into these zones. The single conductive fracture is required to simulate the early tracer arrival times at the discharge wells. Precipitation of secondary minerals within the hydraulic system of a heat reservoir may reduce the productivity of the production wells significantly. This problem might be resolved by chemical stimulation. Therefore extension of the hydrothermal model towards a reactive transport model will be the focus of future research.



Lydia Dijkshoorn (RWTH-Aachen)

## Designing a new effective finite difference formulation for borehole heat exchangers

Email: L.Dijkshoorn@geophysik.rwth-aachen.de

This poster presents an effective finite difference formulation of a coaxial borehole heat exchanger in which the “cold” water circulates downward in the outer cylindrical pipe, gets warmed up, and rises in the inner “hot” cylindrical pipe. The water coming out of the “hot” pipe is the “outlet temperature”. The “thermal power” is related to the difference in outlet and inlet temperature.

The new approach does not require a fine spatial discretisation of a borehole heat exchanger since it considers heat transport between the two pipes and heat transport between the outer pipe and the surrounding rocks as thermal resistances. The formulation consists of two stacks of grid cells; one of the hot inner pipe and one of the surrounding cold outer pipe. The grid cell thickness varies according the circulation fluid velocity, which is related to the radius of the outer cold pipe.

The stacks of grid cells from the inner hot pipe and the outer cold pipe are analytical coupled by the cylindrical heat balance equation. The thermal resistance from the outer cold pipe with the surrounding rock is time dependent and incorporate; the thermal conductivities of the soil, the pipe-material and the filling-material. Furthermore it incorporates the influence of the lateral groundwater flow.

The effective finite difference formulation is checked against results from an existing cylindrical finite difference model SHEMAT, used for RWTH-1 (SuperC) borehole. The different calculation times are more or less 4 weeks versus 1 minute for this new approach in case of a

30 year simulation.

The effective finite difference formulation for a borehole heat exchanger can be flexible placed into an arbitrary regional 3D finite difference model, giving the outlet temperature (°C) and thermal power (kW). Doing this for several locations into an existing 3D heat and flow transport model of the Aachen region, gave us the ability to make a prognose map of the region, which indicates the best optimal locations to place borehole heat exchangers.

The effective finite difference formulation itself does not model the interaction of several borehole heat exchangers. But implementing the formulation into the SHEMAT finite difference code allows modelling the interaction between different borehole heat exchangers and at the same time model the influence of for instance transient groundwater flow. This topic is discussed in a accompanying paper.

Ralf Junker (Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben) , Reinhard Jung , Peter Kehrer , Reiner Jahto , Torsten Tischner , Hans Sulzbacher , Knut Hofmeister , Hermann Evers

## **The GeneSys-Project at the GEOZENTURM Hannover – actual state and outlook for the locations Hannover and Horstberg**

Email: ralf.junker@gga-hannover.de

In the GeneSys-project, single-well-concepts are developed and tested in-situ in order to use deep geothermal energy of tight sediments. To do this, the GEOZENTRUM operates the 4100 meters deep well Horstberg Z1 as a research well. Furthermore a demonstrational project will be realized to supply the office- and laboratory-buildings of the GEOZENTURM with geothermal heat. An overview of the actual state will be presented.

### Location Horstberg

The principal item of the hydraulic tests, which have been conducted since September 2003 in the Horstberg well were massive water-frac tests. During these tests, 20,000m<sup>3</sup> of freshwater have been injected at pressures exceeding 300 bar and flowrates of up to 50 l/s. The results of the tests show, that huge fracture has been created in the sedimentary rocks, which keeps a high hydraulic conductivity even after pressure release. The temporal development of this fracture has been monitored until 2006. The well Horstberg Z1 penetrates all geological strata of the supra-salinar which are typical for the Northern German Basin and makes it therefore an excellent test-site for hydraulic development concepts.

### Location Hannover

The geological exploration at the location in Hannover was completed with a 4 km long seismic survey. The profile runs perpendicular to the seismic surveys of the year 2001 and delivers detailed insights to the structure at the future drilling site. Special attention was paid

to fault-systems. The planned well will reach a final depth of approx. 3800 m. The drilling is planned to commence by the end of 2007.

Hans Sulzbacher (GGA-Institut Hannover)

## **Model Predictions for Cyclic Methods in the GeneSys Project**

Email: [Hans.Sulzbacher@gga-hannover.de](mailto:Hans.Sulzbacher@gga-hannover.de)

In recent model calculations, in the framework of the GeneSys- project, geothermal power and heat per year were computed for an operation schema which was adapted to the heating period of one year. The first 3 month of the warm period of a year are used to pump the amount of about  $200.000m^3$  of cold water into the underground heat exchanger. Over a following period of 3 month this water is heated in the deep, hot reservoir. During the next 6 month the delivered hot water is used to heat the buildings of the Geozentrum in Hannover. In contrast to the week based schema of operation in this year based schema heat is supplied also at night and at weekends.

The model results for this new operation schema show, that the thermal exploitation of the underground is more effective by this method, than with the week based operation schema, which was favoured in former times. Though lower flow rates the extracted geothermal energy is essentially higher, than that, which can be produced with the week based schema. Also the saved primary energy in this new method is essentially higher.

The computations show, that the year based operation mode beside other methods is an additional option for supplying the Geozentrum of Hannover with sufficient heat energy.

---

## **2.3 S3 - High-Performance Computing**

Jacques Ernst , Hansruedi Maurer (Institut für Geophysik, ETH Zürich, Switzerland) , Alan G. Green , Klaus Holliger

## **Full-waveform inversion of crosshole georadar data acquired at the Grimsel rock laboratory, Switzerland**

Email: maurer@aug.ig.erdw.ethz.ch

Crosshole radar surveying is a highly effective technique for mapping subsurface electrical properties that are important for a wide range of geoscientific and engineering investigations. Unfortunately, the resolution of crosshole radar images may be limited by inadequacies of the ray tomographic methods commonly used to invert the data; since ray methods are based on high-frequency approximations and only account for a small fraction of the information contained in the radar traces, they are restricted to resolving relatively large-scale features. As a consequence, the true potential of crosshole radar techniques has yet to be realized. To address this issue, we introduce a full-waveform inversion scheme based on a finite-difference time-domain solution of Maxwell's equations. By automatically accounting for all phases of the radar signal, it is capable of providing high-resolution dielectric permittivity and electrical conductivity images of the earth between boreholes. The background media may be heterogeneous, the physical property contrasts are not limited by the Born or Rytov weak scattering approximations, and the size of the dielectric/conductive targets may be smaller than the dominant wavelength of the radar signal.

We have benchmarked our new scheme on synthetic crosshole data generated from suites of increasingly complex models. The full-waveform tomographic images accurately reconstructed: (i) the locations, sizes, and electrical properties of isolated sub-wavelength objects embedded in homogeneous media, (ii) the

locations and sizes of adjacent sub-wavelength objects embedded in homogeneous media, (iii) abrupt media boundaries and average and stochastic electrical property variations of heterogeneous layered models, and (iv) the locations, sizes and electrical conductivities of water-filled tunnels and closely spaced sub-wavelength pipes embedded in heterogeneous layered models.

The new scheme, which has been shown to be remarkably robust to the presence of uncorrelated noise, has been applied to experimental crosshole data recorded at the underground Grimsel rock laboratory in the central Swiss Alps. Data were acquired at 0.5 m intervals using 250 MHz RAMAC borehole georadar antennas located in two parallel boreholes that were 20 m long, sub-horizontal, air-filled and 10 m apart. Previous geological and seismic investigations of this region demonstrated the presence of a major shear zone within the granodioritic host rock. Prior to applying our 2-D inversion scheme, the data were windowed to reduce out-of-plane signals and subjected to a transformation that included a correction for out-of-plane geometrical spreading, a phase shift, a frequency dependent scaling factor and the mean model velocity. A simple estimate of the source signal based on stacks of the data was sequentially improved by applying a form of deconvolution during the inversion process. The spatial resolution of the full-waveform tomograms was found to be noticeably superior to the ray-based tomograms.

Thomas Bohlen (TU Bergakademie Freiberg) , Daniel Köhn

## **Parallel 3-D viscoelastic Finite Difference simulation of seismic waves - a snapshot of recent optimizations**

Email: tbohlen@geophysik.tu-freiberg.de

In order to extract information about the 3-D structure and composition of the earth from seismic observations, it is necessary to be able to predict how seismic wavefields are affected by complex structures. Computational power has advanced to a state where we can begin to perform wavefield simulations for realistic (complex) 3D earth models at frequencies of interest to both seismologists and engineers. On serial platforms, however, 3-D calculations are still limited to small grid sizes and short seismic wave traveltimes. To make use of the efficiency of network computers a parallel 3-D viscoelastic finite difference (FD) code has been implemented over the last years. This implementation, named FDMPI, is based on a domain decomposition of the model, i.e. the wavefield within each sub-domain is computed by a different processing element (PE) (Bohlen, 2002). A significant amount of wavefield data, generally a few 100 Megabytes, needs to be exchanged between neighboring processing elements at each time step of a simulation. Thus, a fast network is necessary to achieve a good performance. The communication between the different processing elements is performed using the Message Passing Interface (MPI).

Our implementation is showing good performance on different parallel architectures. We use the code regularly on (standard) dual-core Linux PCs that are connected via standard Gigabit Ethernet in an in-house network. Good performance is also observed on massive parallel supercomputers which makes the computation of very large grids feasible.

In this paper we present on-going optimizations of the program.

To reduce seismic wave reflections at the boundaries of the computational domain, we are implementing the so-called perfectly matched layers (PML) absorbing boundary condition which is today the most efficient condition for FD time-domain wave simulations. First tests revealed that a relatively thin boundary of approximately 10 grid points already leads to a reduction of artificial reflections by approximately a factor of 10 compared to standard sponge-layer conditions.

The use of higher order FD operators allow a coarser discretization of the model leading to a significant reduction of run-time and memory requirements. Higher order FD operators, however, may lead to inaccuracies in complex media especially in the presence of strong elastic contrasts. With increasing order of the FD operators, the amount of wavefield data that needs to be communicated between processing elements is increasing leading to higher communication times.

MPI provides different communication types between PEs, such as buffered or persistent communication. The performance of these MPI communication types is investigated for different parallel architectures.

Reference Bohlen, T., 2002, Parallel 3-D viscoelastic finite-difference seismic modelling , Computers@Geosciences, 28 (8) pp. 887-899

Bernhard Schuberth (Geophysik, LMU München) , Antonio Piazzoni , Hans-Peter Bunge , Heiner Igel , Gerd Steinle-Neumann

## **Combining Large-Scale Computations of Mantle Convection and 3D Global Wave Propagation for Interpretation of Mantle Structure, Physics and Composition**

Email: [mail@bernhard-schuberth.de](mailto:mail@bernhard-schuberth.de)

Our current understanding of mantle structure and dynamics is to a large part based on inversion of seismic data resulting in tomographic images. For solving such inverse problems, forward modeling is needed to obtain predictions for a current set of model parameters. The sophisticated numerical full waveform modeling tools, which are available for several years now, are still not fully applicable to seismological inversions. Thus, the question remains of how we can make use of modern computational techniques to learn more about the structure, physics and composition of the Earth. We demonstrate an approach to obtain earth-like seismograms by combining pure forward simulations from geodynamics, mineral physics and seismology. 3D global wave propagation is simulated for a geodynamically derived mantle model (mantle circulation modeling, e.g. Bunge et al. 2002), for which the temperatures from the geodynamic modeling are converted to seismic velocities using a thermodynamically self-consistent mineral physics approach. Assuming a certain mantle composition (e.g. pyrolite) our mineralogic modeling algorithm computes the stable phases at each depth (i.e. pressure) and temperature by system Gibbs free energy minimization. Through the same equations of state (EOS) that model the Gibbs free energy of phases, we compute elastic moduli and density. For this we built a mineral physics database based on calorimetric experiments (enthalpy and entropy of formation, heat capacity) and equation of

state parameters. The purpose of this approach is to obtain seismic velocity models independently from seismological observations but based on physical grounds. The resulting seismograms are therefore physically plausible and can be compared directly to real data. In this way, one can test various hypothesis about the deep mantle. Additionally, this approach may provide a means to identify new observables of the wave field which are sensitive to geodynamical or physical parameters.

Dirk Elbeshausen (Museum für Naturkunde, Humboldt-Universität Berlin) , Kai Wünnemann

## Numerical modeling of oblique meteorite impacts in three dimensions

Email: [dirk.elbeshausen@museum.hu-berlin.de](mailto:dirk.elbeshausen@museum.hu-berlin.de)

Most geodynamical questions are related to dynamic processes on very large spatiotemporal scales. Geological deformations occur over thousands, up to millions of years. In contrast meteorite impact is a highly dynamic process that last only seconds or minutes and happened frequently in Earth history. During such a short time period large crater structures of more than 200 kilometers in diameter can be formed. The particular challenge in modeling such events lies in the extremely high velocity (supersonic) and high strain-rate deformations best described by compressible (hyperbolic) flows that make high demands on numerical codes. We present a new 3D-hydrocode (iSALE-3D) which uses an ICED-ALE technique and includes the advection of material boundaries (free-surface) using a fast, modified Marching Cubes algorithm. Both the highly efficient code and the model parallelization make iSALE-3D to one of only very few codes capable for studying shock wave propagation and the entire crater formation process in three dimensions. We are using iSALE-3D especially for the investigation of oblique meteorite impact cratering. It is known from experimental studies that the impact angle affects crater properties such as depth, diameter and morphology. However, most crater structures on planetary surfaces and the Earth appear to be circular and it is uncertain, whether minor deviations from the circular shape are due to the angle of impact or a result of pre-impact target inhomogeneities. Furthermore it remains unknown whether scaling relations between impact energy and crater size based on laboratory experiments also hold for large impact craters.

Our primary goal is to demonstrate, by numerical modeling, the effect of impact angle and direction on structural characteristics of real impact craters and to develop scaling laws for large scale oblique impact cratering. To study the influence of an oblique impact trajectory on crater formation, we conducted a suite of different model runs for various projectile diameters and impact velocities in a range of impact angles between  $30^\circ$  and  $90^\circ$ . Our results show that the growth of the crater diameter for angles of  $60^\circ$  and higher is nearly identical to the vertical impact case. Smaller angles lead to a significantly slower diameter growth. Both transient cavity volume and maximum crater depth increase with the impact angle in a sinusoidal manner. We are also presenting first attempts of a scaling relation between impact angle, velocity, projectile size, gravity and maximum crater volume.



Ulrich Hansen (Institut für Geophysik, Uni Münster)

## Computer Simulations and Numerical Experiments in Geodynamics

Email: [hansen@earth.uni-muenster.de](mailto:hansen@earth.uni-muenster.de)

High performance computing is the today's most powerful research tool in geodynamics. Key features, believed to play a major role in mantle- and core dynamics can hardly be taken into account in laboratory models. Internal heating of mantle convection by radioactive elements, a strong dependence of material properties on temperature and pressure are only two complications to mention. Different routes are currently taken to improve our understanding of the Earth's interior dynamics. 'Simple' model approaches, designed to study particular aspects, like the role of variable viscosity, diffusivity, thermal expansion etc., or, alternatively, such efforts, trying to incorporate as many as possible 'realistic' features, aiming at a 'model Earth', Both approaches are often complementary. In this contribution, efforts of the first kind will be presented. Numerical models, based on different discretization schemes, in combination with various visualization techniques, were employed to investigate geodynamic phenomena of local and global scale. The numerical models include finite Elements and finite Volume methods, as well as spectral approaches. Volume-rendering, isosurface-techniques and tracer-particle methods we applied to visualize the results. Geodynamic phenomena which will be discussed include the evolution of plumes, as a local phenomenon, plate tectonics and mantle convection as well as mixing properties of mantle convection, both from a global perspective. Convective phenomena in a spherical shell, in a strongly temperature dependent mantle defines the upper limit of today's achievable scenarios. First efforts on this topic will be presented.

Markus Geimer (Forschungszentrum Jülich GmbH)

## **Scalable Trace-Based Performance Analysis of Parallel Applications**

Email: [m.geimer@fz-juelich.de](mailto:m.geimer@fz-juelich.de)

The complex architectures of high-end computing systems present difficult challenges for performance optimization of scientific applications. Tools are needed that collect and present relevant information on application performance to enable developers to easily identify bottlenecks.

Event tracing is a widely used technique for these kind of analyses. Time-stamped events, such as entering a function or sending a message, are recorded at runtime of the application and analyzed afterwards. While this approach has proved to provide useful higher-level feedback on the performance of medium-scale parallel applications, the traditional sequential implementation does not scale to applications running on thousands of processors.

In the SCALASCA project, we are developing a scalable trace analysis toolset that exploits both distributed memory and parallel processing capabilities available on the target platform. After introducing the general idea of pattern search in event traces, the talk will describe our parallel analyzer architecture and discuss first results obtained on an IBM BlueGene/L system with 16,384 processor cores.

Heiner Igel (LMU)

## **Role of High Performance Computing in Seismology**

Email: [heiner.igel@lmu.de](mailto:heiner.igel@lmu.de)

The theory of wave propagation as well numerical solutions to 3D wave propagation in complex media of various geometries and rheologies are fairly well understood. Despite the continuous growth in computational power and well established algorithms, 3D wave simulation technology is far from being used on a standard basis for the analysis of local, regional and global wavefields. This is partly due to the fact that to observational seismologists there are obstacles to implement and use such tools on HPC facilities. We are entering a new era in which 3D simulation methodology will play a crucial role in the source and structural imaging process. Discussions are necessary on how to make this technology available to the wider geoscientific community. This involves aspects of training, HPC facilities (supercomputer centres, GRIDs), as well as soft links with the well established observational infrastructure and data bases in seismology.

Holger Class (Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart) , Anozie Ebigbo

## **Reliability of numerical models for simulating CO<sub>2</sub> storage in deep geological formations**

Email: `holger.class@iws.uni-stuttgart.de`

The need to manage the global carbon cycle for mitigating the greenhouse effect has raised world-wide activities on developing concepts to store carbon dioxide in deep geological formations. Numerical models are hereby indispensable tools to assess upcoming questions concerning technical and economical feasibility, risks, and sustainability of CO<sub>2</sub> storage. Since the relevant physical processes are very complex, it is of great importance to gain confidence in numerical modeling results. Due to the lack of data such models are very difficult to validate. Therefore, we developed a strategy to improve the reliability of mathematical and numerical models by means of a series of problem-oriented benchmarks. This benchmark study addresses some specific problems of CO<sub>2</sub> storage in different formations, for example, plume evolution, dissolution, non-isothermal effects, enhanced gas recovery, etc.

Christian Bischof (RWTH Aachen)

## **Parallel Computers Everywhere**

Email: [bischof@sc.rwth-aachen.de](mailto:bischof@sc.rwth-aachen.de)

Chips with multiple computing cores, so-called multicore chips, are becoming common place from laptops to servers alike. Clock rates of chips, on the other hand, are likely to decrease to allow for denser packaging and reduced power consumption. Hence, there is no alternative to parallel programming. To program such computers with many cores attached to a shared memory, the OpenMP programming specification has developed as a quasi-standard. We briefly highlight the architectural basics of multicore systems and their memory systems, and illustrate how OpenMP programming can deliver both good performance and in particular good programming productivity even on non-uniform data distributions and workloads.

Seonghyung Jang (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources) , Sangyong Suh

## **Prestack depth migration on walk-away VSP using MPI\_LAM**

Email: jang@kigam.re.kr

Prestack migration is widely used for imaging the complex subsurface structure such as salt dome, fault, and fold. However, it is needed high performance computers and parallelizing techniques because of huge data volume and large amount of computing time. Exploration seismic problems consist of function of time, velocity, source and receiver position, frequency, and wavenumber. These have intrinsically parallel characteristic. In this study, we have developed VSP reverse time migration on a low-cost PC cluster using the Message Passing Interface (MPI), and we applied it to synthetic VSP data for a salt flank model with inhomogeneous velocity model. For modeling the inhomogeneous media, von Karman type random media is used since it is well known for short wavelength components. VSP is usually used for detecting dip, anisotropy, and reflection amplitude or waveform with respect to incidence angles. It is also used to correlate major reflectors across log and surface seismic data. We made synthetic VSP seismic data using finite difference method for acoustic wave equation and conducted reverse time prestack depth migration. The synthetic VSP data for a simple three horizontal layered model showed direct waves, reflection and refraction, which includes down-going and up-going waves with different direction. These are similar to typical VSP data. Usually VSP migration needs preprocessing, which is included to separate up-going and down-going waves. However, we conducted VSP prestack depth migration using inner product of back-propagated wavefield and virtual source without preprocessing. The observed wavefield were extrapolated

backward to the subsurface to calculate back-propagated wavefield. When we conduct inner production, we used the virtual sources instead of partial derivative wavefield. The virtual source is a forward modeled-wavefield with a source term which result from taking partial derivative wave equation with respect to a velocity. These two wavefields were calculated simultaneously after distributing tasks to every computing node by domain decomposition method. The result of numerical model test for a salt flank model with homogeneous velocity media shows that the upper horizontal and dipping layer were properly imaged. The better image of upper horizon and dipping layers than the lower layers indicates that seismic energies were concentrated on these interfaces. In case of inhomogeneous velocity model, the result shows just the outline of salt flank's body.

Jens Oeser (Geophysik, LMU München) , Marcus Mohr , Hans-Peter Bunge

## **TETHYS – A Tectonic High Performance Simulator for Geophysical Computations**

Email: [jens.oeser@lmu.de](mailto:jens.oeser@lmu.de)

Demanding large-scale numerical simulations form an increasingly important instrument in geophysics. High-end parallel computer arrays, known as clusters, constitute an attractive tool for performing such kinds of computations. Compared with parallel systems at regional computing centres such systems offer two main advantages:

- Since the cluster is dedicated for a small set of key applications, a concept known as topical computing, its hardware design can be optimally tailored with respect to these applications in contrast to the multipurpose systems available at computing centres, which must serve the needs of a broad set of very diverse programs.
- The dedicated mode of operation also leads to faster turn-around times, i.e. the time between submission and completion of the simulation run, allowing for real capacity computing.

Based on funding by the German HBFG program and the German Science Foundation the Munich Geophysics group in 2006 built a cluster for geophysical modeling. The machine now consists of 160 processors and employs AMD's Opteron chip architecture, a Gigabit Ethernet interconnect and a NetApp storage system. About 160 GB of main memory and a parallel file system space of 10 TByte is available through the system.

The Munich machine is dedicated to global seismic wave propagation simulations in the fre-

quency range of 20 seconds and global geodynamic calculations capable of resolving Earth's mantle upper thermal boundary layer.

Similar sized systems as well as systems of much larger size are currently being deployed in geophysical modeling throughout Europe and North America. We observe that topical compute clusters are likely to continue to grow in importance, reflecting their superior price performance which is well suited to capacity computing.

Christoph Moder (LMU München) , Hans-Peter Bunge , Heiner Igel , Bernhard Schuberth

## **Visualisation of large datasets with Paraview**

Email: [mail@christoph-moder.de](mailto:mail@christoph-moder.de)

With growing computing power, simulations become more sophisticated and higher resolutions can be handled. Together with the increasing use of parallel computers, this leads to large amounts of data. This data explosion is posing mounting difficulties in the post-processing and visualisation phase of modern simulations. Whereas large-scale simulations nowadays can often be split up on parallel computers, standard visualisation methods still tend to operate under the traditional sequential computing paradigm and hence the visualisation process must deal with the entire dataset at once. Thus often it does not fit even on quite large PCs. In our investigations, we found that the new open-source parallel visualisation program Paraview instead is quite a good tool — — — it has a very flexible architecture allowing it to run on a computing cluster, so that even large datasets can be handled. Additionally, interactive processing of the data, hardware-acceleration and optionally 3D on a Geowall are supported. This makes it suitable for processing large-scale geophysical simulations like high-resolution geodynamic or seismic simulations with isosurfaces, cross sections and topography (examples are provided).



Mark Blome (ETH Zürich, Institut für Geophysik) , Hansruedi Maurer

## Advances in 3-D geoelectric forward solvers

Email: [mblome@aug.ig.erdw.ethz.ch](mailto:mblome@aug.ig.erdw.ethz.ch)

The introduction of multi-electrode data acquisition systems during the 1980's and 1990's has significantly simplified geoelectrical surveying, such that relatively large 3-D data sets can now be collected with moderate field effort. Despite the ever increasing power of computers, full 3-D geoelectrical data inversions remain challenging and time-consuming tasks. We describe our technical advances on the computationally most expensive part of the inversion process – the forward solution. Our forward solver is based on the finite-element technique and uses unstructured tetrahedral meshes, thus allowing for the incorporation of complicated 3-D topography and varying mesh density. Numerical inaccuracies in the geoelectrical forward solution are mainly due to (i) singularities at the source electrodes and (ii) truncation of the computational domain at the model boundaries. To deal efficiently with the effects of source-electrode singularities, we employ a novel singularity removal scheme based on a fast multipole boundary-element method. It takes advantage of the fact that potentials due to the singularities are not dependent on subsurface conductivity distributions. Accordingly, prior to the inversion process, potentials due to singularities in a homogeneous subsurface are calculated by the boundary-element method. Subsequently, with this information only the non-singular potentials due to subsurface conductivity variations need to be determined by the finite-element method. This new approach is valid for problems involving pronounced topography. To cope with inaccuracies associated with the limited computational domain, we adopt so-

called infinite elements. Rather than truncating the boundaries under approximate conditions, infinite elements allow the potential field to continue radially from the source electrodes to infinity. Since the infinite elements do not require assumptions about the form of the potential field, they can also be applied to the non-singular potentials. By using these two techniques, we are able to decrease the number of degrees of freedom in the finite-element equations while maintaining high accuracy, thereby reducing the computational costs for the forward solution. This reduction permits modern sparse direct matrix solvers to be used, even for relatively large 3-D data sets. Direct matrix solvers are especially well suited for data sets with a large number of source electrodes; after a single matrix decomposition, only simple backward/forward substitutions are required for all source electrodes. Depending on the problem size, the gain in computational efficiency may be substantial. We compare the efficiency and accuracy of the new forward solver techniques for different conductivity models, varying mesh sizes and second- versus first-order finite elements.

Guido Blöcher (GFZ Potsdam) , Günter Zimmermann

## **Settle3D – A new generator for artificial porous media**

Email: bloech@gfz-potsdam.de

Reservoir rocks, regardless of which kind (oil, gas or water), are classified by their specific geological properties. Most rock properties, such as storage, permeability, electric conductivity, heat capacity and so on are determined by laboratory experiments and field tests under different exterior conditions. Besides temperature, pressure and chemical reactions, also the geometry of the pore spaces as well as porosity lead to the typical behaviour of sandstones. In most experiments, heterogeneous deformation of pore space, changes of porosity and inner surface or closing of micro-cracks or pore-throats, cannot be observed directly.

For our understanding of changes in reservoir properties, the relation between pore space geometry and rock properties under different chemo-physical circumstances has become increasingly important. Thin section micrographs, computer tomography (CT) and scanning electron microscopy (SEM) help to understand this dependence, but they give only a “freeze“ image of a changing world.

To study the processes behind these changes, we developed the sedimentary tool “Settle3D“. With this software it is possible to generate different clastic rocks in a discrete way, which means that each grain inside this sandstone can be handled separately. The resulting porous medium can be directly used as import structure for different mechanical, hydraulic and thermal simulations. So the structural information of sandstones can be linked to the petrophysical behaviour of porous media.

To address these questions, we will present the possibilities of Settle3D. These include the

generation of various grain types, handling of input parameters (such as grain size distribution or different materials), sedimentary processes via direct collision procedures and analysing of the final pore space geometry.

Josep de la Puente (Geophysik, LMU München) , Martin Käser , Michael Dumbser , Heiner Igel

## The ADER-DG Method: High-Order Earthquake Simulation on Tetrahedral Meshes

Email: [jdelapuente@geophysik.uni-muenchen.de](mailto:jdelapuente@geophysik.uni-muenchen.de)

Over the last decades computational seismology has proved to be a very useful tool to help understanding complicated wave propagation phenomena of elastic waves. Although the physics involved in the wave propagation are relatively simple and well known, the complexity of the Earth's structure makes it still challenging to properly simulate the seismograms we observe.

Most methods for forward wave propagation used to date in seismological studies fall in one of two groups: either they reach very high accuracy but in limited geometrical setups, usually based upon deformed regular grids (FD, PS) or they are very flexible geometrically but lacking their counterparts' accuracy (FE, FV). Recently, the Spectral Element (SE) method has found a good compromise as it is highly accurate and uses deformed hexahedra as computational elements. In addition it is proven to produce highly efficient schemes. However, even the most powerful hexahedral mesh generators have trouble when very complex geometries are to be meshed.

The Discontinuous Galerkin (DG) method combines high-order spatial resolution with the advantage of being able to use tetrahedra as computational cells. The solutions are not required to fulfil continuity conditions between the cells, where numerical fluxes perform the communication of the solution's values. An explicit one-step ADER time integration further allows us to obtain a solution which has convergence properties of arbitrary high-order both in space and time.

Although first used in the field of computational fluid dynamics, the ADER-DG method has been adapted in the last two years to solve seismic wave propagation problems. It is able to handle viscoelastic and anisotropic rheologies, kinematic models of extended faults, fluid materials as well as the most common boundary conditions. A unique property of it is the possibility of using a local timestepping. This means that instead of using a global time increment for the whole domain, which is limited by the smallest cell velocity/size ratio, each cell can update its values with its own optimal time step. As a result, smallest cells perform many computations while the larger ones have to update their values less frequently. Finally, the use of tetrahedral meshes makes the process of setting up a complex problem very easy, with little user expertise required.

The ADER-DG method has been implemented in the code *SeisSol* for 2D and 3D problems. Together with the use of powerful commercial meshing software we can easily set up problems of challenging geometrical complexity and obtain results of high quality in a very efficient way. *SeisSol* is fully parallelized and able to solve large-scale problems by using computer clusters or high-performance computing facilities.

The method's versatility and accuracy have been thoroughly proved by comparison with many known analytical solutions, as well as in benchmark exercises as the ground motion estimation in the Grenoble basin. The results confirm that the ADER-DG method is a valid tool for accurately solving large-scale problems

where geometrically and rheologically complex models are involved.

The *SeisSol* package will be provided through the SPICE-library of codes for wave propagation problems ([www.spice-rtn.org](http://www.spice-rtn.org)) in the coming future.

Rocco Malservisi (Ludwig Maximilian Universität München) , Kevin P. Furlong , Rob Govers

## **Lithospheric strain localization and reorientation due to changes in plate motion. How does the ductile regime adapt?**

Email: roccom@lmu.de

Since 20 Ma the plate boundary along the Alpine Fault in South Island of New Zealand has undergone substantial changes. The combination of movement of the Eulerian pole describing the Pacific-Australian relative motion with the southern migration of the Hikurangi subduction zone has changed the conditions along the Alpine Fault to progressively more transpressive. On a crustal scale this change has been accommodated by crustal thickening and the creation of the Southern Alps, on the full lithospheric scale it is still not clear how these changes in plate motion are accommodated. At shallow to middle level where the lithosphere is predominantly brittle these changes of motion are normally accommodated through strain partitioning along preexisting weakness (faults) and/or through crustal thickening. Within the ductile regime, the plate boundary shear may reorient along a more favorable direction (a typical behavior for a linear viscous flow) or it may localize along a preexisting weak shear zone with lithospheric thickening (typical for power law rheology). Here we use FEM to simulate the evolution of the Southern Alps and to analyze the effects of the coupling between ductile and brittle lithosphere (in particular the presence of a fault), the effects of boundary conditions (southern migration of the subduction) and of the rheology (linear vs. powerlaw) on the localization of the flow in the ductile part of the lithosphere and how the lithospheric scale plate boundary adapts to the new tectonic regime. We show that the location of the fault in the brittle layer that is better aligned with respect to plate

motion controls the localization of deformations in the ductile regime. We also show that in the ductile region, the direction of maximum shear within the localized region of deformation tends to orient along the direction of the plate motion.

Fabian Krzikalla (Geophysik, Uni Karlsruhe) , Tobias Müller

## Parallel computation of pressure fields in poroelastic media

Email: [fabian.krzikalla@gpi.uni-karlsruhe.de](mailto:fabian.krzikalla@gpi.uni-karlsruhe.de)

Poroelastic materials are multiphase composites containing a framework of solid grains as well as liquid and gaseous phases within the pore-space. Their mechanical behavior reflects the interaction of the stress and deformation of the solid with the dilatation and pressure evolution of the pore fluid. A neat understanding of wave propagation in poroelastic media is important for engineering problems, as well as for the interpretation of seismic surveys in petroleum exploration.

We present a 2-D velocity-stress finite-differences (FD) scheme to simulate acoustic and elastic waves within fluid saturated, porous media. The mathematical background is provided by Biot's theory of poroelasticity that describes the interplay between particle motion, stress and pore pressure by means of two coupled wave equations (Biot, 1956).

A parallel viscoelastic FD program developed by Bohlen (2002) has been extended to solve Biot's equations by a scheme that is second order in time and contains higher-order spatial derivative operators. The optional use of rotated spatial operators (Saenger et al., 2000) is implemented and is meant to improve the stability behavior of the numerical scheme in the case of high material contrasts within the poroelastic medium. In order to demonstrate the properties of the code, we show analytical and numerical FD solutions for wave propagation in a frictionless, homogeneous medium as well as snapshots from pressure fields in heterogeneous media. Since the investigation of realistic poroelastic models entails an increased computational effort and high memory requirements,

the code has been parallelized and runs on modern high-performance computer-clusters. propagation in poroelastic structures with complex disorder.

### References

Biot, M. A., 1956, Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. I. Low frequency range. *Journal of the Acoustical Society of America* **28**(2).

Bohlen, T., 2002, Parallel 3-D viscoelastic finite difference seismic modelling, *Computers & Geosciences* **28** 887–899

Saenger, E. H., Gold, N., and Shapiro, S. A. [2000] Modeling the propagation of elastic waves using a modified finite-difference grid. *Wave Motion* **31**, 77–92.

Xin Li (Uni Bremen) , Gabriele Uenzelmann-Neben , Katrin Huhn

## **Investigation of recent sediment transport pattern along the Transkei Basin offshore South Africa**

Email: [lixin@uni-bremen.de](mailto:lixin@uni-bremen.de)

The area south of South Africa is an important gateway for the interoceanic exchange of water masses from the Atlantic, Indian and Southern Oceans. Three major water masses are involved: the Agulhas Current (AC), the North Atlantic Deep Water (NADW), and Antarctic Bottom Water (AABW). The interplay of these currents is widely believed to control the sediment transport pathways along the South African continental slope, the Agulhas Passage as well as the Transkei Basin. During the research cruise SO-182 with R/V SONNE in spring 2005 extensive reflection seismic data were recorded along the Agulhas Passage, the Agulhas Plateau as well as the Transkei Basin to reconstruct sediment transport pattern through time. Thereby, the Agulhas Drift – situated in the Transkei Basin, was surveyed by a dense profile grid. This large sediment body could be identified as major sediment deposition center which was developed since mid-Miocene. Furthermore, seismic data indicate that current conditions were highly variable in this region: a north-south directed inflow of AABW dominated the sediment transport and deposition in the Transkei Basin from middle Miocene to early Pliocene times, while after that an eastward flow of NADW responded to this sedimentation and the inflow of AABW must have shifted back to the Agulhas Passage gateway. To get to better understanding of the temporal evolution of the Agulhas Drift and the development of the palaeocirculation south of South Africa, the Regional Ocean Modeling System (ROMS) coupled with a sediment model is applied. This is an advanced open-source

model which solves the free surface, hydrostatic, primitive equations over variable topography using stretched, terrain-following coordinates in the vertical, orthogonal coordinates in the horizontal. Based on these current simulations sediment transport pattern have been calculated simultaneously. We started with a 3D model under recent current conditions for a one year model run. Levitus is used as model input. These simulations show that the sediment transport patterns along the Agulhas Drift are strongly influenced by mesoscale eddies under recent conditions. In general, sediment resuspension occurs during the eddy events, and materials are transported away from the Transkei basin if the eddy breaks up. In addition seasonal variations in erosion and depositional pattern along the continental shelf and slope areas north of the Transkei Basin could be observed.

---

## **2.4 S4 - Sedimentary Basin Dynamics**



Mauro Cacace (GeoForschungZentrum Potsdam (GFZ)) , Ulf Bayer , A. M. Marotta

## **A numerical study on the role of rheological contrasts in controlling strain localization and deviation of stresses: the example of the Central European Basin System (CEBS)**

Email: [cacace@gfz-potsdam.de](mailto:cacace@gfz-potsdam.de)

The large-scale crustal deformations observed in the Central European Basin System (CEBS) are related to the interplay of several driving factors, among which lateral rheological heterogeneities are of key importance. We investigate the role of rheology in controlling strain and stress patterns within the CEBS through a finite-element integral sheet model. Elasto-plastic rock behaviour is simulated for all the structural layers which constitute the lithospheric plate. The main changes with respect to classical models are: (1) the use of thermo-mechanical input data to better quantify the impact of lateral contrasts; (2) the quantification of the thermal blanketing effects of the sedimentary fill; (3) the analysis of both lower crustal and shallow mantle variations and their thermal effects. The consistency of the model is ensured through direct comparisons between the obtained results and the observed recent data. The modelled results resemble the present-day dynamical and kinematical tectonic scenario with a high grade of accuracy. Moreover, the strong strain localizations found along rheological contrasts inserted in the models enhance the dominant role played by large structural domains in stiffening the propagation of the deformation and in controlling basin formation and further evolution.

Fabien Magri (GeoForschungsZentrum Potsdam) , Ulf Bayer

## **Deep-fluid flow in the North East German basin: possible transport processes**

Email: [fabienma@gfz-potsdam.de](mailto:fabienma@gfz-potsdam.de)

In the North East German Basin (NEGB) deep-seated waters migrate up to the surface. Since deep fluids are highly saline, these upward flows suggest that forces overcoming the gravitational field must exist in addition to any natural topography-driven flow. It is proved that temperature gradients can lead to dissolved salt transport over large spatial scales and significantly shorter migration time scales than compared with diffusion alone. This flow regime is also referred to as thermohaline convection. Numerical simulations of thermohaline flow have been carried out in order to understand the mechanisms of brine migration within the NEGB. Based on an extensive data collection, a hydrogeological model of the NEGB has been built. An appropriate fluid density model is also incorporated in which brines are supposed to be pure NaCl solutions. The results showed that thermal disturbances provided by the presence of salt domes within the basin generate upward flow of dissolved halite. Thermal buoyant forces are dominant even along salt flanks where gravitational forces were expected to be stronger. Furthermore, the influence of thermal conductivities on the calculated patterns has been investigated.

Dieter Franke , Sönke Neben , Stefan Ladage , Bernd Schreckenberger , Karl Hinz , Axel Ehrhardt (BGR)

## **Segmentation and volcano-tectonic architecture along the volcanic margin off Argentina/Uruguay, South Atlantic**

Email: Dieter.Franke@bgr.de

Some 25.000 kilometres of regional multichannel seismic data, acquired by BGR along the continental margins off Argentina and Uruguay document that the Early Cretaceous South Atlantic continental break-up and initial seafloor spreading were accompanied by large-scale, transient volcanism emplacing voluminous extrusives, manifested in the seismic data by huge wedges of seaward dipping reflectors (SDRs). The emplacement of the deeply buried, 60-120 km wide SDRs was probably episodic as documented by at least three superimposed SDRS units. Distinct along-margin variations in architecture, volume, and width of the SDRs wedges are probably related to margin segmentation. It is suggested that the margin can be divided, at least, in four compartments bounded by the Falkland Fracture Zone/Falkland Transfer, the Colorado Transfer, the Ventana Transfer and the Salado Transfer. The individual margin segments were correlated with the distribution and thickness of the post-rift sediments. The individual transfer zones may have acted as rift propagation barriers, selectively directing rift segments in left stepping patterns along the western South Atlantic margin. Albeit we found extensive variations in the architecture, style and extent of the seaward dipping reflector sequences a general trend is that the largest volumes are emplaced close to the proposed transfer zones and the width of the SDRs wedges decreases northward within the individual margin segments. We suggest that mainly adiabatic decompression and melt generati-

on from shallow sources can explain distinct along-margin variations in the volcano-tectonic architecture and volumes of extruded magmas. Most striking is the observation that there is a positive correlation between sediment thickness and the breadth of the SDRs wedges, or, more generally the sediment thickness along the Argentine/Uruguayan margin apparently correlates with the segmentation of the margin.

Jörg Ebbing (Geological Survey of Norway (NGU)) , Carla Braitenberg

## **Observations on basin formation and lithospheric features in the Barents Sea**

Email: Joerg.Ebbing@ngu.no

We discuss the connection between lower crust and upper mantle features and basin formation in the Barents Sea area. The continental shelf area of the Barents Sea Region and its hydrocarbon potential is a subject of increased scientific and economic interest, but a variety of key questions about the tectonic setting and the basin formation are still disputed. Industrial and academic geophysical studies revealed that a relatively complete succession of sedimentary strata in the basins, but different characteristic in the Western and Eastern Barents Sea. The Western Barents Sea basins are interpreted to be (narrow) rift basins with a thickness up to 14 km, while the Eastern Barents Sea basins are broad basins with a maximum thickness of 20 km. From isostatic and seismological studies, areas of high-density and high-velocity can be observed in the upper mantle, which correlate with the different basin types. The deep and very wide basins of the Eastern Barents Sea are correlating with high lithospheric mantle densities, while the narrow basins of the Western Barents Sea correlate more to low lithospheric mantle densities. This observation clearly points to a connection between basin formation and underlying large-scale lithospheric processes.

The mantle densities may indicate different tectonothermal age or the different setting in relation to the edge of the continental shelf. The stable setting of the Eastern Barents Sea can explain the presence why the deep intra-cratonic basins could form in the Eastern Barents Sea, and why rifting processes are only of minor importance for the formation of the Eastern Ba-

rents Sea basins.

To understand the underlying cause of the Eastern Barents Sea basins, we make a comparison to well studied cratonic basins (Michigan, Amazon, Tarim, Congo basins a.o.), where structure, subsidence history and temperature evolution is relatively well known. All these basins deviate from simple models of crustal extension and classic isostatic equilibrium (crustal thinning). Instead, high-density masses in the crust and mantle appear to be a typical feature, confirming the importance of lithospheric structures in basin formation.

James Mechie (GFZ Potsdam) , Manfred Stiller , Michael Meiler , Michael Weber , Khalil Abu-Ayyash , Zvi Ben-Avraham , Radwan El-Kelani , Issam Qabbani , DESIRE Group

## **A Seismic Wide-Angle Reflection / Refraction Profile Across the Southern Dead Sea Basin**

Email: jimmy@gfz-potsdam.de

As part of the DESIRE project seismic wide-angle reflection / refraction (WRR) and near-vertical incidence reflection (NVR) measurements were completed in spring 2006 across the Dead Sea Transform (DST) in the region of the southern Dead Sea basin. The DST with a total of about 105 km multi-stage left-lateral shear since about 18 Ma ago, accommodates the movement between the Arabian and African plates. It connects the spreading centre in the Red Sea with the Taurus collision zone in Turkey over a length of about 1100 km. With a sedimentary infill of about 10 km in places, the southern Dead Sea basin is the largest pull-apart basin along the DST and one of the largest pull-apart basins on Earth. The WRR measurements comprised 11 shots recorded by 200 three-component and 400 one-component instruments spaced 300 m to 1.2 km apart along the whole length of the E-W trending 240 km long profile. First models of the P-wave velocity structure derived from the WRR data show that the southern Dead Sea basin is filled with salt-rich sediments about 8 km thick beneath the profile. In contrast, the interfaces below about 20 km depth, including the top of the lower crust and the Moho, show less than 3 km variation in depth beneath the profile as it crosses the southern Dead Sea basin. Thus it seems that the pull-apart basin beneath the southern Dead Sea is mainly confined to the upper crust. Thermo-mechanical modelling of the Dead Sea basin supports such a scenario.

Charlotte M. Krawczyk (GFZ Potsdam) , Tina Lohr , David C. Tanner , Heike Endres , Henning Trappe , Onno Oncken , Peter Kukla

## **A workflow for sub-/seismic structure and deformation quantification of 3-D reflection seismic data sets across different scales**

Email: [lotte@gfz-potsdam.de](mailto:lotte@gfz-potsdam.de)

The evolution of a sedimentary basin is mostly affected by deformation. Large-scale, subsurface deformation is typically identified by seismic data, sub-seismic small-scale fractures by well data. However, faulting at the medium scale plays an important role and may occasionally reach up to 50 percent of the total deformation. Additionally, e.g. large individual reservoirs can be disrupted by faults enhancing fluid flow, or producing compartmentalized deposits due to cementation of fractures. Thus, between the methods, we lack a deeper understanding of how deformation scales in the subseismic region.

We analysed a 3-D reflection seismic data set in the North German Basin, in order to determine the magnitude and distribution of deformation and its accumulation in space and time. A five-step approach is introduced for quantitative deformation and fracture prediction. An increased resolution of subtle tectonic lineaments is achieved by coherency processing, allowing to unravel the kinematics in the North German Basin from structural interpretation. Extensional events during basin initiation and later inversion are evident. 3-D retro-deformation shows major-strain magnitudes between 5-15 percent up to 1.5 km away from a fault trace, and variable deviations of associated extensional fractures. Good correlation of FMI data, strain distribution from retro-deformation and from geostatistic tools allows the validation of the results and makes the prediction of small-scale faults/fractures possible. The temporal component will be gained in the future by analogue

models.

The suggested workflow is applicable to reflection seismic surveys and yields in great detail both the tectonic history of a region as well as predictions for hydrocarbon plays or geothermal reservoirs.

Mikhail Baykulov (Institut für Geophysik, Universität Hamburg) , Heinz-Jürgen Brink , Dirk Gajewski , Mi-Kyung Yoon

## **CRS processing and depth migration of seismic reflection data from Northern Germany.**

Email: [mikhail.baykulov@zmaw.de](mailto:mikhail.baykulov@zmaw.de)

Within the priority program of the German Research Society on the "Dynamics of Sedimentary Systems" the influence of old deep rooted processes on basin formation and surface morphology is investigated. In this work we present new reprocessing results of seismic reflection datasets recently released by the industry. The data were collected in the late 1970ies and the 1980ies in the North German Basin with the main focus on the sedimentary structures. These datasets were recorded up to 15 s TWT and have a mean fold of about 20 which is very low compared to current acquisitions.

We reprocessed the datasets with the focus on imaging structures in the lower crust and within the salt domes. During the reprocessing in time domain mainly the Common Reflection Surface (CRS) stack method was used, which is particularly suited for low-fold data. This technique shows a considerably improved imaging quality compared to the Common Midpoint (CMP) processing of the 1970ies and 1980ies. This applies not only to lower crustal features but also holds for the images of the sedimentary structure and the salt plugs. Also an interval velocity analysis was performed and the depth velocity model was built to apply the post-stack and prestack depth migration.

In the reprocessed sections the image quality of the crustal reflections and the Moho was significantly improved. The results show an almost flat Moho discontinuity even in the area of the Glückstadt Graben where a lower crustal high density body was discovered. The inter-

pretation is in good agreement with recent results from gravity modeling in this area. Besides the enhancement of crustal and Moho reflections which was the major target of the reprocessing, the CRS stack also improved the images of the salt plugs. Poststack depth migration of the CRS stack and prestack depth migration produced images of reflections within and below the salt, providing an improved continuity of reflectors not seen before.

Jens Wollenweber (Institute of Geology and Geochemistry of Petroleum and Coal, Lochnerstr. 4-20, RWTH Aachen University, 52056 Aachen, Germany) , Sascha Alles , Andreas Busch , Bernhard M. Krooss

## Experimental investigation of the CO<sub>2</sub> sealing efficiency of a regional cap rock in W Germany

Email: wollenweber@lek.rwth-aachen.de

The Upper Cretaceous “Emscher Mergel” (Emscher Marl) formation is a mudrock of wide regional distribution and a thickness of up to 1000m in the Münsterland basin of W Germany. It overlies a saline aquifer as well as deep, unminable Carboniferous coal seams which represent potential targets for subsurface storage of CO<sub>2</sub>. In order to determine the top seal properties and, in particular, the CO<sub>2</sub> sealing efficiency of this formation, fundamental petrophysical and mineralogical investigations have been performed on selected samples representing different stratigraphic layers. These investigations comprise Helium and CO<sub>2</sub> gas breakthrough experiments under in-situ P/T conditions on initially fully water saturated cylindrical plugs of 10-20 mm thickness and 28.5 mm diameter. The experimental procedure has been described in detail by Hildenbrand et al. (2002). Repetitive gas-breakthrough experiments (three cycles) have been performed under elevated P/T conditions to test for reproducibility and petrophysical changes that might result from the interaction of the samples with CO<sub>2</sub>. Between the different CO<sub>2</sub> tests, helium experiments under the same conditions have been conducted to compare the results with an inert (non-reactive) gas. Prior to each gas-breakthrough experiment, single phase permeability tests were performed with water. In addition to the fluid-flow tests, CO<sub>2</sub> sorption experiments were conducted on “as received” powdered marl material at pressures up to 20 MPa and temperatures of 45°C. The

repetitive CO<sub>2</sub> gas breakthrough experiments revealed irreversible changes of the petrophysical properties, possibly due to the interaction between the CO<sub>2</sub> and the sample. Absolute (water) permeability coefficients ranged between 6 and 70 nDarcy ( $6 - 70 \cdot 10^{-21} m^2$ ). An increase in permeability was noted after the first CO<sub>2</sub> gas-breakthrough test while permeability remained constant after the follow-up tests. Mass balance calculations of each gas-breakthrough experiment have been performed in order to determine the amount of CO<sub>2</sub> dissolved in the pore water and to quantify sorption processes and/or mineral reactions. This quantification revealed a significant CO<sub>2</sub> storage capacity of the “Emscher Mergel” during the first breakthrough experiment, whereas follow-up breakthrough tests did not show significant additional CO<sub>2</sub> fixation. The high storage capacity was verified by the volumetric sorption experiments on powdered samples. These yielded maximum excess sorption values of 0.25 mmol/g. From other studies these high values can be attributed to physical sorption on clay minerals and organic matter. In order to obtain further information on mineral reactions (and sorption processes), XRD-, BET-, and Hg porosimetry measurements are presently being performed.

References: Hildebrand et al., 2002. Gas breakthrough experiments on fine-grained sedimentary rocks. *Geofluids* (2002) 2, 3-23



Susanne Nelskamp (RWTH Aachen) , Petra David , Ralf Littke

## **Structural evolution of the Dutch underground - a 2D modelling study**

Email: nelskamp@lek.rwth-aachen.de

The Central European Basin system (CEBS) extends from the North Sea to Poland and is composed of up to 10km thick sediments of Permian to Quaternary age. This study deals with the south western margin of the system, the Dutch onshore region. Like most of the CEBS this area has experienced several tectonic phases in its evolution, the most noticeable being the Late Cretaceous inversion phase. In order to study structural features and their dynamics a 2D modelling study was performed based on seismic data. The studied 2D line reaches from the on the London-Brabant Massif (southwest) to in the Lower Saxony Basin (northeast). Along the line the Zeeland Platform, the West Netherlands Basin, the Central Netherlands Basin and the Friesland Platform are situated. Along with the inversion a noticeable crustal shortening occurred, whose amount was quantified. The structural reconstruction is based on several 1D basin models and is in itself again the basis for a 2D basin modelling study. The model takes only events from the Late Permian until present-day into account. According to the modelling the following tectonic phases had the biggest impact on the evolution of the area. From Late Permian until Middle Triassic the area experienced fast subsidence due to rifting. In Middle Triassic times the basins continued to subside while the areas in between encountered a first phase of erosion that removed Triassic and partly Permian sediments. After this phase, the area continued to subside until the next erosion phase in the Middle Jurassic. This phase also affected the basins, removing the Middle Jurassic from the Western Netherlands Basin and part-

ly the Lower Jurassic from the Central Netherlands Basin. On the highs the erosion cut deeper and removed Triassic sediments as well. From the Late Jurassic until the Late Cretaceous only the basins continued to subside. This was reversed during the Late Cretaceous when compressional movements uplifted the basins and caused severe erosion while the highs served as depocentres. In Tertiary times smaller inversion pulses occurred that influenced the West and partly the Central Netherlands Basin. Based on this evolution, paleo sections were created for different time steps to calculate temperatures as well as petroleum generation.

Johannes Schoenherr (RWTH Aachen/Geologie - Endogene Dynamik) , Zsolt Schléder , Janos Urai , Ralf Littke , Peter Kukla

## **Microstructural evolution and fluid transport mechanisms of the Late Neoproterozoic to Early Cambrian Ara Salt from interior Oman**

Email: j.schoenherr@ged.rwth-aachen.de

The presence of salt has a major control on the tectonic evolution of sedimentary basins, because of the rheological contrast with the surrounding sediments. In addition, evaporites have a strong control on fluid flow in a sedimentary basin, because of their very low permeabilities and ductility. Although salt is widely regarded as a perfect seal, it can become permeable for one- or two-phase fluids under certain conditions of fluid pressure, temperature and differential stress. We present microstructures of Ara salt from the deep subsurface (3 - 7 km) of the South Oman Salt Basin (SOSB) and from three surface-piercing salt domes of the Ghaba Salt Basin. Both sub-basins form the subsurface of interior Oman and belong to the Late Neoproterozoic to Early Cambrian salt belt, which stretches from Oman to Iran (Hormuz Salt). In the subsurface salt, the occasional presence of primary (syn-genetic) chevron crystals indicates incomplete dynamic recrystallization and suggests shallow hypersaline brine pool origin for the salt succession. Those crystals show fluid-filled grain boundaries and up to 200 micrometer-sized subgrains, pointing to dislocation creep processes associated with fluid-assisted grain boundary migration as the dominant deformation mechanisms during burial and diapirism. Some of the salt cores derive from the direct vicinity of isolated intra-salt carbonate reservoirs and show a black staining by the presence of solid bitumen, which is formed out of oil. The pathways for oil flow in halite can be along zones of diffuse grain boundary dilatancy.

The main criterion for this to occur is the presence of near-lithostatic fluid pressures, which allow a dramatic increase in permeability. In the surface-piercing salt, no primary microstructures were found, suggesting that the salt fabric is completely recrystallized during extrusion or at the surface. Fibrous microstructures indicate that solution-precipitation creep was an active deformation mechanism during salt extrusion and/or at the surface. Using subgrain size palaeo-piezometry, the maximum past differential stresses for the subsurface salt is less than 2 MPa and up to 5 MPa for the surface-piercing salt. This stress difference is explained by higher stresses in the extrusion canal of the diapir. The results show that we can infer different deformation mechanisms from different tectonic settings of a salt diapir. Using data of laboratory deformation experiments, i.e. flow laws, we can implement our findings into models of salt tectonics to take the rheological behaviour into account.

Sven Arndt (Universität Kiel, Geophysik) , Wolfgang Rabbel , Hans-Jürgen Götze , Fabian Hese , Angela Schlesinger

## **Near surface faults originating below the Zechstein salts in the German North Sea**

Email: sarndt@geophysik.uni-kiel.de

The CORTEC project “Towards a correlation of basement structures and sedimentary basin tectonics” is focused on the geological evolution of the German North Sea sector. CORTEC is part of the priority program SPP 1135 (Dynamics of sedimentary systems under varying stress regimes: The example of the Central European Basin System), which is funded by the DFG - Deutsche Forschungsgemeinschaft.

In this study, we interpreted marine seismic reflection data, acquired by TGS NOPEC, Norway, supplemented by borehole information provided by DGMK - Deutsche Wissenschaftliche Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle. The seismic network comprises about 3500 km of seismic profiles.

In the depth-migrated seismic database we identified horizons that correspond to the base Middle Miocene, base Oligocene, base Eocene, base Tertiary, base Upper Cretaceous, Top Zechstein, and base Zechstein. We can directly derive depth levels of the layers for selected lithological units from the mapped seismic unconformities that represent the geological horizon.

Salt is regarded to act as a decoupling layer in some circumstances. We show examples in the German North Sea Basin, which show near surface faults originating from below the Zechstein. The spatial distributions of these faults indicate a negative correlation between frequency of occurrence and thickness of Zechstein salt layers.

Fabian Hese (Universität Kiel, Inst. f. Geowissenschaften, Geophysik) , Sven Arndt , Hans-Jürgen Götze , Wolfgang Rabbel , Angela Schlesinger

## Crustal Structure of the southern North Sea area

Email: [fabian@geophysik.uni-kiel.de](mailto:fabian@geophysik.uni-kiel.de)

The CORTEC research project is part of the SPP 1135 Dynamics of sedimentary systems under varying stress conditions: The example of the Central European Basin, which is funded by the German Research Foundation (DFG). Our project aims to investigate the relation between basement structures and sedimentary basin tectonics in the German North Sea area. This study is focused on geological processes and structures of the Pre-Permian lower crust, which was mainly affected by the convergence and collision between the Gondwana derived microcontinent Avalonia and Baltica. Following the accretion of Avalonia, various processes like magmatic activity, lithospheric cooling, extension and regional subsidence influenced the composition of the crustal structure. These processes are responsible for changes in rock properties and causes potential field anomalies. The data base consists of a net of high resolution reflection seismic profiles (3500 km length, TGS-Nopec, Oslo), potential field data (gravity grids from KMS - Copenhagen and GETECH - University of Leeds, as well as gravity point data from BSH Hamburg and the NOAA ship track database, a total magnetic anomaly grid was obtained from GGA Hannover), borehole data (DGMK Hamburg) and the geological data sets of the Geotectonic Atlas of NW-Germany (BGR Hannover). Using the geological 3D modelling system GO-CAD and the geophysical 3D modelling system IGMAS, a 3D density model down to the upper mantle was built for the German North Sea area. The basin model derived from seismic data was used to calculate the basin sediments gravity ef-

fect. The modelled gravity field was subtracted from the measured Free-air gravity anomaly to obtain a residual gravity field at the Base of the Zechstein. The residual gravity map reveals information about the structure of the Palaeozoic basement and the lower crust. We identified a gravity lineament striking parallel between the Caledonian Deformation Front and the Elbe Lineament. It is most probably caused by density contrasts in the suture zone between Avalonia and Baltica. Furthermore, information about the general architecture of the middle and lower crust and the depth to the geological structures associated to the positive potential field anomalies was retrieved.

W. Rühaak (Leibniz Institute for Applied Geosciences (GGA)) , Volker Rath , Christoph Clauser

## **Modeling the impact of deep fault zones on the thermal regime in a sedimentary basin**

Email: w.ruehaak@gga-hannover.de

In order to obtain information regarding the flow regime within the Molasse basin (SW Germany), a thermal 3-D steady state model was set up, with the aim of comparing modeled with measured subsurface temperatures. The conductive high resolution model, reveals areas with significant thermal anomalies due to advective heat-transport. All of the strong anomalies are located near fault zones; which indicates that they are not influenced by strata-flow alone. One of the strongest anomalies occurs at the Saulgau fault zone. A genetic connection between this fault zone and the observed thermal anomaly has not been demonstrated until now. Therefore we computed a coupled heat-transport type model for a smaller area, reflecting the main factors. The results of the type model indicate that the observed thermal anomalies are a result of the interaction of the relatively fast groundwater flow in a karstic aquifer (Jurassic) with free-convection within the fault-zone. In contrast to convection in faults without the interplay of regional groundwater flow, no system of multiple cells develops. Instead, there is only one large convection system which is superposed by the regional flow. This combined flow system ends abruptly with a strong up-flow where the fault ends. It is exactly there where the conductive model shows the strongest positive thermal anomalies. This is in line with the field data, which show the major positive thermal anomalies on positions where the prominent WSW - ENE directed faults intersect with other faults which are approx. N - S orientated. It is likely that the faults are interrupted at these locations.

However this interpretation is still hypothetical, because due to a significant lack of data it is not possible to preclude other mechanism like salinity and transient processes.

Norbert Zisser , Manuel Grifka , Georg Nover

## **A Database of petrophysical properties of rocks from the North German Basin (SPP1135).**

Email: [g.nover@uni-bonn.de](mailto:g.nover@uni-bonn.de)

Within the framework of the SPP1135 a lot of petrophysical rock properties were measured on sedimentary core samples (sandstones, carbonates) from deep and shallow drillings of the North German Basin. A large number of samples was measured using various analytical techniques, thus we decided to form a database including all essential data like geographical position, geological description, mineralogical composition and petrophysical data. The very first input data were based on our own measurements, right now we include data from other working groups cooperating within the SPP. The database is protected by password against unrequested access, it is only open for internal users associated with the petrophysical work group Bonn. At a later stage it will be opened for external users (password required) by giving access to the web-interface that will then allow limited access for external input and query. The information available for each sample include e.g.: location, textural information, photographs (core, plug, thin section), mineralogical composition, X-ray analysis, grain size, density; pore structure related properties like porosity, permeability (its pressure dependence); and finally electrical properties (and pressure dependence), fluid conductivity, electrical models. Input data from other groups are strongly welcomed.

Norbert Hoffmann (Metronix GmbH Braunschweig) , Bernhard Friedrichs , Laska Hengesbach

## **Magnetotelluric soundings in the North German basin-new data for Lower Carboniferous palaeogeography, basin development and hydrocarbon exploration**

Email: dr.norberthoffmann@hotmail.de

Since 1993, after the unification of the two parts of Germany, new magnetotelluric (MT) measurements in north-east and north-west Germany with a definite hydrocarbon orientation. The aim was to delineate deep conductors which may be regarded as deep source rocks still producing some gas, to establish the regional extent of these layers, to determine their stratigraphical positions, and to integrate electrical parameters derived from magnetotelluric results into geological-tectonic modelling as a contribution to understanding the palaeodynamic development of the deeper underground of the North German basin. Up to now, a total of 226 MT soundings has been carried out along several profiles crossing the North German basin perpendicular to its axis. Analysis of the new magnetotelluric data shows that there is a deep good conductor at the north-eastern fringe of the North German basin around the islands of Rügen and Usedom and the mainland north-east of the Anklam fault. By linking up with seismic data and the offshore well G 14 this conductor can be correlated with the Scandinavian Alum shales. Although pyrolysis experiments still attribute a certain amount of gas formation potential to the Cambro-Ordovician source rocks, this potential is not realistic due to high maturities. To the south, an area approximately corresponding to the depocentre of the Rotliegend basin joins up without a deep good conductor. Therefore it can be assumed that a regional distribution of comparable source rocks is unlikely.

South of the Elbe Line, another good conduc-

tor appears at depths of 7-10 km in the external Variscan zone. In comparison with geological sections that layer could most probably be correlated with the Lower Carboniferous bitumen- and pyrite-rich black shales as encountered in the Münsterland 1 and Pröttlin 1 wells.

Near the Dutch-German border the conductor might be connected with the Lower Carboniferous Bowland shale formation or equivalents which may extend from the Anglo-Dutch basin into this region. This interconnection, called "East-Friesland Channel", separates the northern Carboniferous limestone area (Middle England, southern North Sea, southern Emsland). Gas and isotope geochemical studies on gases from producing Rotliegend deposits in the "Ems Estuary" province have shown that black shales have made significant contributions to the contents of the deposits. Actual magnetotelluric data from Glückstadt Graben (Schleswig-Holstein) suggest that the Lower Carboniferous black shale facies, probably filling the graben structure and, accordingly, the development of this structure in the Lower Carboniferous already. Magnetotelluric and their integrated modelling together with petrophysical and organochemical data offer new possibilities for the interpretation of basin configurations and basin development, and consequently for future hydrocarbon exploration.

Ansgar Heimann (Geologie - Endogene Dynamik, RWTH Aachen) , Johannes Schoenherr , Lars Reuning , Janos Urai , Ralf Littke , Peter Kukla

## **Deformation structures and maturity of Infra-Cambrian carbonates from surface-piercing salt domes of interior Northern Oman: First results**

Email: ahei@gmx.net

Six surface-piercing salt domes of interior north Oman provide unique insights into the dynamics of the Late Neoproterozoic to Early Cambrian Ghaba Salt Basin (GSB). The salt domes are composed of numerous isolated carbonate blocks (so-called 'stringers') and associated evaporites – i.e. anhydrite and halite. The salt domes are thought to represent an important outcrop analogue for intra-salt hydrocarbon plays in the subsurface (3-6 km) of the South Oman Salt Basin (SOSB), which is around 500 km in the SW of the GSB. In the salt domes, the carbonate 'stringers' can be up to 40 meters thick with a lateral extend of several hundred meters. Their spatial orientation seems in most cases to be disordered and with no relation to each other, which is most likely attributed to strong deformation during salt diapirism. This is indicated by a number of deformation structures of the 'stringers' such as isoclinal folds, cataclases, thrust faults and calcite- and dolomite-veins associated with breccias. These features are most likely the product of multiple deformation stages during halokinetic movements, i.e. due to the rise of the salt diapirs. Maturity analyses of solid bitumen, occurring at pore throats and stylolites of the carbonates, indicate a range of burial paleo-temperatures between 100-200°C. This broad range in paleo-temperatures shows that the individual carbonate blocks were rising from a depth of at least six kilometres (assuming a geothermal gradient of 30°C/km). In addition, the chaotic juxtaposition of the 'stringers' and lying on top of each other may be the

result of intense near-surface dissolution of the salt as indicated by the abundant occurrence of anhydrite cap rocks. Our observations show that the carbonate 'stringers' have undergone thermal maturation to generate oil and strong deformation during their burial and uplift history, respectively. This is consistent with the knowledge of the deeply buried intra-salt carbonate 'stringers' of the South Oman Salt Basin. The surface-piercing salt domes hence, provide unique insights into the internal deformation processes of a salt diapir and a suitable analogue research area to the deep intra-salt hydrocarbon plays of the SOSB.



---

## **2.5 S5 - Scientific Drilling**

André Gebauer (Friedrich-Schiller-Universität Jena) , Thomas Jahr , Gerhard Jentzsch

## **A tiltmeter array associated with the large scale injection experiment at the KTB/Germany: Detection of fluid induced deformation by five ASKANIA borehole tiltmeters**

Email: andre.gebauer@uni-jena.de

The tiltmeter array, consisting of five high resolution borehole tiltmeters of the ASKANIA type, was operating in the surrounding area of the KTB location from mid 2003 until September 2006. The one year injection experiment at the KTB started in June, 2004 with a medium injection rate of 180 liters/minute into the KTB pilot borehole (4000 meters deep).

The instruments rank among the most sensitive tiltmeters worldwide and they have a resolution of at least 0.2 msec (about 1 nrad). With an effective length of the pendulum of about 0.45 m and an eigenfrequency of 0.7 Hz they need to be installed in boreholes at least 30 m deep in order to avoid meteorological and groundwater influences as far as possible.

A great advantage of the tiltmeters is the in-situ calibration, which allows the calibration of the observed signal with an accuracy of better than 0.01%. The high sensitivity of the tiltmeter against ground water changes / pore pressure variations in the vicinity was proved by different experiments for installations in sediments but also in solid rocks. However, these injection and pumping experiments were carried out on a scale of some ten up to some hundred meters.

The aim of the research project was to observe the induced deformation of the upper crust at kilometer scale and to interpret the observation by numerical modelling, together with the monitoring of induced seismicity in the area.

We expect elastic as well as anelastic responses: Changes of the rheologic properties due to pore pressure increase will cause changes in

the tidal parameters. The increasing of the pore pressure causes higher seismic velocities resulting in modified tidal parameters. Further we expect sudden changes of the drift curve as well as slow variations.

For the separation of the induced drift signal it is necessary to eliminate locally induced interference, e.g. arising from groundwater variations. The pore pressure changes, observed at all stations show significant correlations with the recorded tilt signals. The reduction of these locally acting effects and also meteorological influences like barometric pressure changes or precipitation yield tilt signals, which are significantly correlated with the injection experiment: The hodograms, derived from the reduced data describe the tip movement of the pendulum over ground and show a clearly dominant drift away from the injection point for three stations.

The injection process was pre-modelled with a tilt amplitude of 6 msec, however the observed tilt amplitudes are ten times bigger than the expected bulge. This is probably due to the fact, that the modelling was restricted to a layered half space without fault zones.

Thomas Wiersberg (GFZ Potsdam) , Jörg Erzinger

## **On the origin and spatial distribution of gas at seismogenic depths of the San Andreas Fault from drill mud gas analysis**

Email: [wiers@gfz-potsdam.de](mailto:wiers@gfz-potsdam.de)

We have analyzed drill mud gas from the SA-FOD Main Hole (San Andreas Fault Observatory at Depth) on-line during drilling for its molecular composition and after drilling for isotopes (noble gases, carbon, hydrogen). Hydrocarbons, hydrogen, and carbon dioxide are the most abundant non-atmospheric gases in the entire well. The SAF, situated between approximately 3100 m and 3450 m bore hole depth, is generally low in gas, in particular in hydrogen, but is encompassed by two broad gas-rich zones (2700 – 2900 m and below 3550 m) at the fault margins with enhanced radon activity and distinct gas compositions. The occurrence of these gases is mostly related to the lithology of the drilled strata, as most formation gas was detected when drilling through organic-rich shales and permeable sandstones. Within the fault core, two sections in 3150 – 3200 m and 3310 – 3340 m depths are enriched in gas. The upper one is mixed of carbon dioxide and hydrocarbons, whereas the lower one consists almost exclusively of hydrocarbons. The carbon and hydrogen isotopic composition display an organic gas source of hydrocarbons in the entire sedimentary sections of the well. Hydrocarbons in sedimentary strata are predominately of microbial origin down to 2500 m borehole depth. Between 2500 m and 3100 m, mixing between microbial gas with thermogenic gas is indicated. Below 3100 m, hydrocarbons almost exclusively derive from thermal degradation of organic matter. Two individual hydrogeologic systems are indicated by the helium isotopic composition, which is 0.4-0.6 Ra on the Pacific Plate

(down to 3100 m), but significantly higher below 3500 m on the North American Plate (0.8-0.9 Ra). However, the overall contribution of mantle-derived helium is relatively low. Based on our studies, we conclude that permeable strata at the fault zone margins surround a generally low-permeable fault core. The abundant gases are mainly derived from nearby strata with low input of gases from greater depths. In the fault centre, somewhat more permeable lenses are interstratified, which again trap gas mostly from nearby sources. The lack of hydrogen in the centre of the fault and the high concentration of hydrogen in the fractured zones at the fault margins are consistent with the hydrogen formation by interaction of water with fresh mineral surfaces generated by tectonic activities.

Tobias Lau (Jena , Friedrich-Schiller-Universität Jena) , Thomas Jahr , Georg Büchel

## **Modeling a fluid injection in the pilot hole of the “Kontinentale Tiefbohrung der Bundesrepublik Deutschland“(KTB) using finite elements**

Email: tobias.lau@uni-jena.de

During the last years several hydrogeological investigations were undertaken in the drill holes of the KTB. The recent experiments consist of one pumping test lasting from June 2002 till June 2003 followed by a relaxation phase of one year. Afterwards an injection test took place from June 2004 till April 2005. During this experiment a fluid volume of  $85000 \text{ m}^3$  was injected into the pilot hole at 4000 m depth. This increased the pore pressure about 12 MPa in the close vicinity of the injection point and caused a deformation of the surrounding rocks and the earth's surface. The deformation was observed by a tiltmeter array of 5 Askania tiltmeters which were installed in drill holes around the KTB site. The analysis of the collected data revealed changes in the tilt of about 100 - 150 ms. However, this tilt changes did not occur radial to the injection site but showed significant discrepancies in their direction. Therefore a numerical modeling of the KTB site and the fluid injection was accomplished to discover which processes are relevant to transfer pore pressure and how geological structures influence the resulting deformation.

The finite element model has a size of 20 km x 20 km x 10 km and consists of 25600 hexagonal elements. It features poroelastic rheology of the modeled rocks, gravity and an initial stress field. The rock parameters are based on the analysis data of the drilled cores. Additional to this rock definition four faultzones were included. These are two fault zones belonging to the Franconian Lineament which is the most prominent fault system in the surrounding area. The other two are

smaller local faults striking only a few hundred meters away from the KTB. The fault zones differ from the modeled rock in an increased permeability and void ratio. The other parameters are equal for the fault zones and the rocks. The modeled timeframe comprises the ten months injection phase and the following one year relaxation phase.

Results of the modeling show tilt changes in the same magnitude as the measured data. While models with inactive fault zones produce tilt changes which are directed radial to the injection center, models with permeability contrast between rocks and fault systems lead to variations in tilt directions. With increasing permeability within faults the deformation of the earth's surface is not dominated by a bulge above the injection point only but is superposed by increasing deformation above the fault zones. However, the tilt direction is mainly affected during the relaxation period following the injection. Since the fluidflow within the model is controlled mostly by faults, these faults influence the discharge of the injected fluid. This process leads to a irregular decrease of the bulge which can be recognized with tilt measurements.

Vladimir Cermak (Geophysical Institute, Czech Acad.Sci.) , Jan Safanda

## **Thermal regime and the instability of the fluid column in a borehole**

Email: [cermak@ig.cas.cz](mailto:cermak@ig.cas.cz)

For better understanding of temperature state in shallow subsurface the temperature-depth log can be suitably completed with long-run temperature-time monitoring at several selected depths. The increase in sensitivity together with extended data storage capacity of modern data loggers has opened new horizons for detailed in-situ experiments. Observational evidence proved that even when a borehole is in apparently well stabilized conditions, temperature data may exhibit certain unrest resembling irregular oscillations of the order of several thousandths or even hundredths of degree. We demonstrate the results of several monitoring experiments performed in widely different geological settings to the depth from several hundred up to 1500 m, namely incidental observations from Kamchatka, Finland and Mexico together with systematic studies performed in our test hole in Prague (Czech Rep.) covering temperature-time series of various length (days to months) with sampling interval varying from seconds to minutes. Temperature time series displayed intermittent, non-periodic oscillations of temperature with sharp gradients and large fluctuations over all observed time scales. The spectral analysis revealed a high level of stochasticity in the measured signal. Calculated spectra showed “band-pass” behavior without any definite peaks, which might characterize periodicity. Local growth of the second moment technique revealed the presence of at least two distinct temperature forming processes. One of them can be related to heat transfer in the structurally and compositionally complex subsurface. The second of them, which presents the bulk of

the measured signal, probably reflects intra-hole convection. A fluid in a borehole subjected to a thermal gradient is stable as far as the gradient remains below certain critical value. It can be demonstrated that at higher Rayleigh numbers the periodic character of oscillations characteristic for “quiescent” regime is superseded by stochastic features. This so called “oscillatory” convection occurs due to instability of the horizontal boundary layers. In spite of the fact that the basic convective cell motion is maintained and convection is characterized by slow motion, the oscillatory intra-hole flow and corresponding temperature patterns exhibit typical features of turbulence.

Christian Hübscher (Institut für Geophysik, Universität Hamburg) , Joe Cartwright , Heribert Cypionka , Gert De Lange , Wout Krijgsman , Alastair Robertson , Jean-Pierre Suc , Janos Urai

## **Capturing a Salt Giant – Riser Drilling Perspectives for the Levantine Basin**

Email: christian.huebscher@zmaw.de

Salt giants are a global phenomenon and both indicators and generators for significant environmental changes. Salt layers of some kilometres thickness strongly affect the structural, chemical and biological evolution of sedimentary basins. Fluid inclusions within the salt represent ice-core-like microbial habitats of so far unknown importance. The world's most significant hydrocarbon traps are related to salt structures. Quantitative understanding of salt dynamics and associated fluid flow is further necessary in order to assess the exploration and production risk. Since evaporites may cause mass wasting and sink holes, they are an important source of geohazards. However, in spite of their global occurrence and general importance within the Earth system there is a significant lack in our knowledge about the early evolution of all salt giants on Earth. Drilling through the complete Messinian succession represents perhaps the only opportunity to understand the stratigraphy, biosphere and fluid dynamics of a global salt giant in a state close to its original depositional configuration, because the present state of Earth system does not form salt giants. This is a novel concept for scientific drilling in sedimentary basins beyond the IOPD Initial Science Plan and one of the last scientific frontier challenges in sedimentary basin research. In a global context, drilling a young salt giant is a unique chance to advance our understanding of gravity tectonics on basin evolution in the presence of a mobile layer. A single and preferable continuous core from the seafloor down to beneath

the evaporitic layers will calibrate the extensive 2D-and 3D-reflection seismic data sets from the geometrically well defined Levantine Basin. A complete core of the Messinian evaporites would open an outstanding archive of the extreme and fast environmental changes in the Messinian. The discovery that the Mediterranean experienced a catastrophic desiccation phase during the Messinian has since proven to be one of the major achievements of the DSDP program. In the 35 years after completion of that leg, over 1000 papers have been published on the Messinian Salinity Crisis. In spite of all this research activity, there is no complete calibration of the stratigraphy of the most complete record of the MSC, because no scientific drilling has been able to venture into deep water and drill through the thickest succession of the deep basin. Recent studies gave compelling evidences for fluid flow through and out of more than 1000 m thick evaporites. The accompanying flux of salinity, nutrients, dissolved organic matter, sulphate and sulphides strongly influence the biological habitat above and beneath the salt. Consecutive cycles of deposition and within-evaporite preservation (inclusions) of microbial life will produce an ice-core-like archive of microbial life captured during cycles of paleo-environmental change. Besides the microbial archives, active interfaces will stimulate active microbial life. Such interfaces can not only be found within and between evaporite cycles but also at the lower and upper evaporite boundaries. The high salt content leads to improved preservati-

on of reactive organic matter not only between evaporite cycles, which themselves contain sulphate (e.g. gypsum/anhydrite), but also immediately above them where sulphate-depleted pore water within organic matter containing sediment occurs. At the interface between anhydrite and reactive OM, intense microbial activity is anticipated very much the same as has recently been discovered for some on-land gypsum deposits. Although no major methane accumulations are expected below the evaporites, some presence of methane is likely. This presents an attractive food source together with the anhydrate-sulphate, thus an active microbial interface. Riser-drilling of the Messinian evaporites in the Levantine Basin is crucial to test our hypothesis that in contrast to generally accepted models, emerging salt giants are intrinsically highly dynamic in terms of structural, chemical and biogenic evolution, even without any external tectonic trigger. On a regional scale, we hypothesise that the basinal Messinian evaporites represent the key archive for understanding of rapid environmental changes of the pan-Mediterranean realm in the Messinian.

Ute Trautwein-Bruns (Aachen/ Geologisches Institut, RWTH Aachen) , Peter Kukla , Katja C. Schulze

## **In situ stress determination in the deep geothermal well “RWTH-1“**

Email: [trautwein@geol.rwth-aachen.de](mailto:trautwein@geol.rwth-aachen.de)

The geothermal well “RWTH-1“ was drilled for the purpose of heating and cooling the future student service centre “SuperC“ at Aachen University. Notwithstanding the economic character of this EU-funded deep borehole (TD at 2544 m), a comprehensive geoscientific research program funded by the DFG is aimed at providing new information from this geologically crucial area. Aachen is located at the transition between the Variscan front and the Lower Rhine Embayment. The area is seismically and hydrothermally active which is related to the prolonged structural evolution characterized by compression and extension.

As part of the research program, state-of-the-art stress field analysis was conducted based on borehole-geophysical measurements. Inversion of electric and acoustic image logs combined with rock property and rock mechanics data calibrated from laboratory experiments allows an estimation of the in situ stress conditions of the crust. Compressive borehole breakouts are best visible in the acoustic image, while tensile structures, like induced fractures, enhanced natural fractures and tensile regions, are detected by the electric image. The combination of both tools provides the best information about stress-related structures.

The vertical stress gradient of 27.3 MPa/km was calculated by integration of the density of the overburden and is consistent with the advanced compaction state of the Paleozoic sequences. The range of possible values of the minimum and maximum principal horizontal stresses is defined by Anderson’s faulting theory which describes the relative stress magnitu-

des. Limitations are expressed by the Coulomb failure theory which determines maximum values of the differences between the maximum and minimum principal stresses in terms of frictional strength of faulted rocks at a given depth and pore pressure (Zoback et al., 2003). The occurrence of drilling-induced tensile fractures indicates a strike slip faulting regime with a significant difference in magnitudes between the two horizontal stresses and thus provides a minimum value for the maximum principal horizontal stress. Results show that at 2502 m depth the maximum principal horizontal stress exceeds 68.5 MPa and that the minimum principal horizontal stress is in excess of 39 MPa.

The observed stress situation which is characterized by a significant difference between the horizontal stresses is consistent with stress conditions in a strike slip faulting regime and can be explained in the regional stress context. The investigated stress pattern most likely displays the transition between the compressive stress regime with reverse faulting observed in the 400 m deep “Konzen“ borehole in the northern Eifel mountains about 30 km south of “RWTH-1“ (Rummel & Baumgärtner, 1985) and the extensional stresses indicated by investigation of earthquake focal mechanisms in the Lower Rhine Embayment in the north of Aachen which prove a normal faulting stress regime (Hinzen, 2003).

References: Hinzen, K.-G. (2003): Stress field in the northern Rhine area, Central Europe, from earthquake fault plane solutions, *Tectonophysics*, 377, 325–356.

Rummel, F. & Baumgärtner, J. (1985): Hy-



draulic fracturing in situ stress and permeability measurements in the research borehole Konzen, Hohes Venn (West-Germany). *N. Jb. Geol Paläont. Abh.*171, 183–193.

Zoback, M. D., Barton, C. A., Brudy, M., Castillo, D. A., Finkbeiner, T., Grollimund, B. R., Moos, D. B., Peska, P., Ward C. D. & D. J. Wiprut (2003): Determination of stress orientation and magnitude in deep wells, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 40, 1049-1076.

Sven Petersen (Kiel/IFM-Geomar) , Dave Smith , Shipboard\_Scientific\_Party MSM03/2

## **Shallow drilling of hydrothermal sites in the Atlantic using the new lander-type Rockdrill2**

Email: [spetersen@ifm-geomar.de](mailto:spetersen@ifm-geomar.de)

During the recent MS Merian cruise MSM03/2 in November 2006 the new lander-type Rockdrill 2 was used to drill the shallow subsurface (<15m) in the active Logatchev hydrothermal field near 15°N on the Mid-Atlantic Ridge. This ultramafic-hosted hydrothermal field is situated in 3000m water depth and is characterized by black smokers venting fluids of up to 360°C and by metalliferous products with large enrichments of Cu and Au at the seafloor. The main objective of the cruise was the investigation of the subseafloor including depth zonations of the mineralization and the associated alteration of the host rocks in order to understand the formation of this hydrothermal deposit and its unique morphological characteristics such as the smoking craters.

As drilling device the newly built, remotely operated Rockdrill 2 of the British Geological Survey in Edinburgh (UK) was used. The rig is lowered to the seafloor on a power and lift umbilical and takes a rock core using a rotary diamond bit coring system. The drill is designed to operate to 3000 m water depth and, by using two rotating carousels with multiple core barrels and rods, is capable of coring to at least 15m. The actual penetration is dependant on the seabed conditions and the geology encountered.

During our research cruise the drill rig landed and cored the seabed on 9 sites, 5 of these sites in water depths between 2980-3050m. The maximum penetration achieved on any one site was 10.3m and, with a total cored length of 48m, proved the ability of the system to routinely operate down to 3050m water depth in active

hydrothermal systems. These operations indicated that coring the upper parts of hydrothermal systems, that are often not sampled during ODP operations, is possible using such a system.

The cruise took place within the DFG Priority Program SPP 1144 “From Mantle to Ocean” and complemented the surface sampling as well as deep sampling carried out by ODP Leg 209 in this area. Scientists from Germany representing the fields of economic geology, petrology, geochemistry and microbiology, technicians and engineers from UK as well as scientists from Switzerland, Russia and China took part in the cruise.

Ilmo Kukkonen (Geological Survey of Finland, P.O.B. 96, FI-02151, Espoo, Finland )

## **Outokumpu Deep Drilling Project, Finland: Overview of aims, results and research**

Email: ilmo.kukkonen@gtk.fi

A deep research borehole was drilled in 2004-2005 in eastern Finland by the Outokumpu Deep Drilling Project of the Geological Survey of Finland. The 2,516 m deep hole was drilled into a Palaeoproterozoic metasedimentary and ophiolite-related sequence of rocks. The basic drilling program included continuous coring and borehole geophysics with 20 different methods, as well as fluid sampling and hydraulic conductivity measurements in the hole. The main criteria that motivated the Outokumpu Deep Drilling Project are as follows: (1) Understanding the deep structure of a classical ore province in Precambrian terrain. The Cu-Co-Zn deposits of the Outokumpu district, hosted by a distinct 1.96 Ga old ophiolitic rock type assemblage formed an important mining area for about 80 years. The ore potential is still considered high; (2) Understanding the composition and origin of the saline fluids and gases identified in earlier drill holes in the Outokumpu region, and studying the deep biosphere; (3) Investigating the vertical variation of different geological and geophysical parameters and correlating geological, geophysical and petrophysical data sets; (4) Using the Outokumpu hole as a deep geolaboratory for various in situ experiments, fluid sampling and monitoring. The Outokumpu Deep Drilling Project has already produced several important observations regarding the nature of seismic reflectors, deep gas-bearing fluids, and detection of a thick layer of pegmatitic granite at depths of 2.0-2.5 km and extending probably much deeper. Geothermal studies have revealed a low conducti-

ve temperature gradient, affected by the glaciations during the last 100 ka. Research projects in the framework of the Outokumpu Deep Drilling Project are currently being carried out by several teams representing Canada, Czech Republic, Finland, Germany, Netherlands, Norway, Russia and Sweden. The Outokumpu project is receiving support from ICDP, and geophysical logging sessions, stress field studies, hydrogeological studies, a VSP seismic experiment, and a fluid injection experiment have been either carried out or are on the agenda for 2007-2010.

Frank Wilhelms (Alfred-Wegener-Institut) , Heinz Miller , Daniel Steinhage , Olaf Eisen , Diedrich Fritzsche , Jakob Schwander

## **Scientific gain from the drilling of ice cores in combination with geophysical measurements**

Email: Frank.Wilhelms@awi.de

Ice cores are renowned for their high resolution record of the past earth's climate proxies extending back to more than one million years. Geophysical methods are indispensable to locate suitable drill sites and to confirm the integrity of the time series. The results not only provide support for the paleo-climatic reconstruction, but give in-depth insight in the dynamics, the structure and physical properties of the ice-shields as a part of the earth's crust. The internal geometry and thickness of ice shields is mapped by ground penetrating radar. Dielectric profiling of ice cores or the bore-holes provide the dielectric properties to compare synthetic radargrams with measured radar traces and link the ice core to its surroundings. Repeated bore-hole logging provides temperature and pressure conditions as well as diameter and shape evolution of the bore-hole. Together with the fabrics analyses on the ice core one estimates flow properties of the ice from bore-hole diameter change. The geometrical evolution of the bore-hole reveals the flow regime at the drill site. Core break strength compared with temperature conditions give insight to the ultimate tensile strength of glacier ice. Bore-hole seismometry is a powerful tool to determine the remaining ice thickness to bedrock in a deep bore-hole. As the geothermal heat flux is determined by inversion of the logged temperature profile, it is presently the unknown parameter for modelling the depth-age relation at a prospective drill site. Before a bore-hole provides access to direct temperature measurements, one has to assume an average geothermal

heat flux for modelling. From rapid access drilling combined with optical bore-hole logging we will gain a preliminary dating for future drill sites, as the optical backscatter is strongly linked to the content of dust particles. The much higher dust content during cold periods, allows us to get a well founded understanding of the ice's age-depth relation at a prospective drill site without awaiting the temperature equilibrium of the hole or the dating of the ice core by geochemical methods.

Hermann Bunes , Gerald Gabriel (Hannover, Leibniz Institute for Applied Geosciences) , Christian Rolf , Thomas Wonik

## **Downhole logging experiments and rock magnetic studies within the Heidelberg Drilling Project – first results**

Email: gerald.gabriel@gga-hannover.de

The potential of the Heidelberg area as the central archive of the geosystem Rhine has been in discussion for some years. The alpine and the lower Rhine / North Sea depositional patterns interfinger in the Northern Upper Rhine Graben (URG). A long and - in the frame of varying subsidence - fairly continuous succession is expected which may be of considerable value to detect Plio-Pleistocene climate cyclicity and transition in a continental environment. A scientific core drilling of the Quaternary and youngest Tertiary succession of the Heidelberg basin was desired by the scientific community.

In early 2006 two new scientific core drillings were started with financial support of the Leibniz Institute for Applied Geosciences (GGA-Institute), and the Geological Surveys of Hessen and Baden-Württemberg. Whereas the 350 m deep drilling close to the town of Viernheim in the central part of the basin was successfully finished recently, the drilling in Heidelberg (aimed depth 500 m) had to be stopped temporarily at 190 m depth due to some technical problems. A third 300 m deep core drilling also contributes to the project, representing the western margin of the basin (city of Ludwigshafen). All three core drillings combined, improved insights are expected into

- sedimentary development and geochronology,
- control of the system by neotectonics and past climatic changes,

- and aspects of applied geology (hydrogeology, geothermal energy, tectonics, and seismicity etc.)

of the Quaternary and Late Pliocene of the Heidelberg basin.

In advance to these drillings geophysical surveys were performed. Especially some high resolution reflection seismic lines in the old town of Heidelberg and north of Viernheim were surveyed in order to image base Quaternary and deeper reflectors. A S-N running profile within the city of Heidelberg reveals an additional subsidence of the Heidelberg Basin in this area of 400 to 500 meters (base Upper Miocene). Detailed downhole logging experiments (mean sampling interval 5 cm) were performed in the non-cased drillings yielding deeper insight into the petrophysical properties of the Quaternary sediments. Varying facies environments cause different characteristics of the downhole logging data, especially sediments deposited by the rivers Neckar and Rhine can be distinguished. Vertical seismic profiles with a sampling interval of 4 m yield velocities that correlate well with the lithofacies logs and will help to improve the interpretation of the reflection seismic lines in future.

Susceptibility measurements were conducted by scanning the existing cores. For the Viernheim drilling a decrease of susceptibilities is obvious at the Plio-Pleistocene transition, with lower values found for the Pliocene. This observation coincides well with results already known from the Ludwigshafen-

Parkinsel drilling and might be interpreted as a change in the magnetomineralogy, maybe caused by a change in the climate conditions.

Michael Becken , Oliver Ritter (GeoForschungsZentrum Potsdam) , Stephen K. Park , Paul A. Bedrosian , Ute Weckmann , Michael Weber

## **A deep crustal fluid channel into the San Andreas Fault system imaged with magnetotellurics**

Email: oritter@gfz-potsdam.de

Fluids are ultimately linked to many fault-related processes at transform plate boundaries and key to understanding fault structure. From the chemical analysis of well waters, it was suggested that fluids can enter the brittle regime of the San Andreas Fault (SAF) system from the lower crust and mantle and may thus contribute directly to fault-weakening high-fluid pressures at seismogenic depths. These studies implied the existence of a deep fluid source and a permeable pathway through the crust. However, recent studies within the San Andreas Fault Observatory at Depth (SAFOD) main hole indicate, that pore pressures within the core of the SAF zone are not anomalously high and that mantle-derived fluids are minor constituents to the fault-zone fluid composition. This suggests that the seismically-defined SAF is itself likely not a major channel for deep-rooted fluid ascent. Here we present results from a magnetotelluric (MT) profile across the SAF at SAFOD from which we infer a deep-reaching, steeply dipping zone of high electrical conductivity within the Earth's crust, which reaches near-surface several kilometers NE from the seismically-defined near-vertical SAF. This zone of high electrical conductivity may reflect a major channel for crustal and/or mantle fluid escape and can explain why higher mantle gas contents have been detected only in wells 1 – 1.5 km NE of the SAF and not within the San Andreas Fault Observatory at Depth. High fluid pressures due to mantle fluid influx into the brittle regime may have important implications for the crustal strength

and the dynamics of the fault zone.

Iulia Ghergut (Applied Geology Group, University of Göttingen) , Horst Behrens , Manuela Lodemann , Martin Sauter

## **Single-well tracer methods as a complement to geophysical methods; characterizing 4-km deep fracture system at pilot KTB hole**

Email: iulia.ghergut@geo.uni-goettingen.de

Fluid residence times and transport-effective fracture densities are important parameters of flow systems in fractured-porous formations. To determine them, tracer tests are the method of choice. Hydraulic and geophysical investigation methods provide no, or only limited access to these parameters, because the signals on which hydraulic or geophysical test methods rely do not depend on, or do not correlate unambiguously with fluid motion and with solute or heat fluxes across fracture surfaces. Fluid temperature variations accompanying hydraulic operations do in principle reflect these parameters, but high thermal diffusivities usually make temperature signals rapidly reach quasi-equilibrium values, obliterating parameter dependencies.

In contrast with geophysical and seismic methods, the use of tracer tests for characterizing heterogeneous geological formations at several km depth is relatively new in Germany. A systematic campaign of deep-crustal fluid spiking applications was made possible since 2003 with a basic research project funded by the German Research Foundation (DFG) within its Priority Program engagement to the ICDP (International Continental Scientific Drilling Program). This tracer testing campaign comprised single-well push-pull tracings, as well as a single-well and a inter-well flow-path tracing, in crystalline (KTB, Urach) and sedimentary (Horstberg) formations in 4km depth. The tests main endeavor was to help understanding processes associated with fluid transport in the deep crust, while also assisting in the quantitative evaluation of hy-

draulic stimulation measures.

At the German ICDP site, the KTB (Kontinentale Tiefbohrung), comprising two boreholes (4-km deep pilot hole, and 9-km deep main hole) in the crystalline basement and enjoying extra-ordinary research opportunities, a combination of short- and long-term tracings could be applied in parallel with a long-term hydraulic, geophysical and seismic testing program. The pilot KTB hole is known to intersect a moderately-permeable fracture system in 3.8-4 km depth, and is fully cased except for this interval. Here, solute and heat push-pull tests were performed in the depleted state (2004), the stimulated state (2005a), the early post-stimulation state (2005b), with a late outflow phase (2006) in the still weakly pressurized, late post-stimulation state. Tracer breakthrough curves from solute push-pull tests, and temperature responses from heat push-pull tests, respectively, enable to estimate a transport-effective contact-surface area per volume between fractures and rock matrix (or a transport-effective fracture density)  $S$ , and an effective radial extension  $R$  of the accessed reservoir (or the space scale seen by the tracers). In general, these estimation will slightly depend upon the type of conceptualization used for the fracture network, and upon the kind of exchange processes or fluxes assumed across or close to fracture surfaces.

The effects of long-term depletion (by fluid abstraction, 2003-2004) and of long-term stimulation (by fluid injection, 2004-2005) on the fracture network around the pilot KTB hole we-



re sensitively reflected by solute and heat push-pull BTCs in terms of S and R, with good sensitivity especially w.r. to parameter S. The solute tracer test in the depleted system indicates higher values of S and R (for an equal chamber volume), than in the stimulated system; the post-stimulation, still weakly pressurized state of the system is characterized by intermediate values of S and R; whereas the heat push-pull tests which paralleled the solute push-pull tests yield complimentary far-field values:

$$S(\text{stim.}, \text{far-field}) > S(\text{stim.}, \text{near-field}),$$

$$S(\text{depl.}, \text{far-field}) < S(\text{depl.}, \text{near-field}).$$

This implies that the prevailing effect of long-term, moderate-rate, cold-fluid injection was to enlarge pre-existing fractures, rather than creating new ones - despite some expectations that cooling-induced cracking would prevail.

A long-term production test is intended at the main hole as of 2008; tracer levels in produced fluids could reveal the (least) size of the reservoir accessed between the two holes. Existence, location and geometry of a fracture system connecting them are yet unclear.

Roland Oberhänsli , Bonnie Wolff-Boenisch (Universität Potsdam, Institut für Geowissenschaften)

## **DRILLING DEEP INTO THE CONTINENT - The coordination office ICDP Germany provides support for the participation of German researchers in the International Continental Scientific Drilling Program (ICDP)**

Email: [bwb@geo.uni-potsdam.de](mailto:bwb@geo.uni-potsdam.de)

Scientific drilling is a unique instrument of modern Geosciences. Only by drilling we can test hypotheses and model experiments, calibrate indirect methods of geochemical and geophysical depth-investigations and use boreholes as deep labs for long-term observations of processes in the Earth's interior. Participation of German scientists in the program of ICDP is enabled in the framework of the DFG Priority Program ICDP Germany (SPP 1006). The DFG provides a basis to grant cutting-edge research projects of all geoscientific research areas and with different scientific questions in the field of continental scientific drilling. It also grants proposals for pre-site studies at specific geological sites, which have the potential to answer important geoscientific questions and therefore the potential of a new scientific drilling site. In the framework of the Priority Program ICDP Germany the DFG also funds a coordination office. Tasks of this office are to initiate and to coordinate research projects, to liaise and to network with the German ICDP community, to cooperate with related geoscientific programs such as IODP. It enables German scientists to partake in international prestigious drilling projects and furthers networking between German geoscientists and different (geo) scientific research communities. The coordination office is represented by the 3 scientific coordinators and the scientific manager (R. Oberhänsli, University of Potsdam; R. Emmermann, GFZ Potsdam; S. Shapiro, FU Berlin and B. Wolff-Boenisch, University of Potsdam). The ICDP science plan (2005

– 2011) embraces 8 major research areas: Active Faulting, Collision Zones and Convergent Margins, Climate Change and Global Environment, Impact Structures, Geobiosphere and Early Earth, Volcanic Systems and Thermal Regimes, Mantle Plumes and Rifting, Natural Resources. In the session "Scientific Drilling" a couple of ongoing and new drilling initiatives related to the topics of Faults, Fluids and Earthquakes will be presented.

Further information and contact persons: • Roland Oberhänsli; [roob@geo.uni-potsdam.de](mailto:roob@geo.uni-potsdam.de) • Bonnie Wolff-Boenisch; [bwb@geo.uni-potsdam.de](mailto:bwb@geo.uni-potsdam.de) • Guido Lüniger (DFG); [Guido.lueniger@dfg.de](mailto:Guido.lueniger@dfg.de)

Homepage ICDP Germany: [http://www.geo.uni-potsdam.de/ICDP\\_Homepage/index.html](http://www.geo.uni-potsdam.de/ICDP_Homepage/index.html)  
Homepage ICDP: <http://www.icdp-online.de/>

Renate Pechinig (Geophysica Beratungsgesellschaft mbH) , Ute Trautwein-Bruns

## Log Interpretation in the RWTH-1 Borehole

Email: r.pechnig@geophysica.de

Petrophysical downhole measurements were carried out in the open-hole environment of the RWTH-1 borehole in 2004. Continuous records of electrical resistivity, spectral gamma activity and sonic velocity were obtained between 242 m and the final depth of 2544 m. Log data and core analysis revealed that porosity is very low in the drilled paleozoic rocks. Thus, log responses primarily reflect variations in rock composition. P-wave velocity varies between 3.5 km/h in coal layers/organic clays and up to 7.0 km/s in limestones. The sand-, silt and claystones have a small value range between 4.5 and 5.7 km/s. The resistivity log reach values of up to 1000 ohmm in carbonates and quartzites, while organic clays have resistivities lower than 100 ohmm. Most of the silt- and claystones show gamma-ray values between 50 and 150 API. Anomalies of up to 200 API can be attributed to thin claystone layers. The anomalies are caused by uranium, which has accumulated over time in sediments enriched with organic material. Very low gamma-ray values (< 25API) were recorded in clean quartz-cemented sandstones, which were frequently drilled in the deeper part of the hole.

By the logging data the profile is subdivided in three larger zones. These zones correspond to main stratigraphic units of (1) Lower Carboniferous deltaic cycles, (2) Upper Devonian siltstones, with claystones, carbonatic sandstones and limestones, and (3) rather homogeneous sand- and claystone successions of Lower Devonian age. In zone (1), which is located between 242 and 1016 m, ten sedimentary cycles of coarsening up sequences were detected. Coal

beds and organic clays are restricted to the upper eight cycles down to a depth of about 900 m. The coal free two cycles between 900 and 1016 m can be correlated with the Walhorn Schichten. The carbonate bearing Upper Devonian formation reaches down to 1440 m and can be separated by the logging data in an upper siltstone dominated section, which might be attributed to the Condroz-formation and a lower silt and clay dominated formation belonging to the Upper Famenne shists. In relation to zone (1) potassium is relatively enriched, which indicates micas and/or K-feldspar occurring as rock forming minerals. At the bottom of zone (2) a 6 m thick limestones layer was drilled, which is dated as slightly younger than the "Cheiloceras limestone" (Ribbert 2006), known as a prominent stratigraphic marker in the region. A significant change in the paleo-environment is indicated by the spectral-gamma logs at the base of the "Cheiloceras limestone", which marks the boundary between zone (2) and zone (3). Below this boundary thorium is strongly enriched relative to uranium. This indicates an abrupt change from marine to terrestrial sedimentary environment. After biostratigraphic investigations these underlying terrigenous rocks are formed in the Lower Devonian (Ribbert 2006), which means that rock series, well known from the northern Eifel mountains, such as the Frasnes shists and the limestone units of the Upper- to Middle Devonian "Massenkalk" are completely missed in the borehole. This is also the case for the carboniferous "Kohlenkalk" formation, which is missing between zone (1) and zone (2).

Tectonic models and paleo-environmental

scenarios are still under discussion to explain these formation gaps in front of the Aachen overthrust belt. In-situ physical properties of Vp and electrical resistivity does not give any hint for a larger fault or fracture zone at these gaps, but this might be explained by the sealing of fractures during time. Only at a depth of 1900 m low Vp and low resistivity values indicate a distinct fault zone, which is the result of the recent strike-slip faulting regime.

Ute Trautwein-Bruns (Geologisches Institut, RWTH Aachen), Peter Kukla, Janos Urai, Sven Sindern, Markus Lögering, Lydia Dijkshoorn, Brita Lünenschloss, Maria Chatziliadou

## Aachen's Geothermal Well "RWTH-1" – The geoscientific research program

Email: [trautwein@geol.rwth-aachen.de](mailto:trautwein@geol.rwth-aachen.de)

Aachen's geothermal well "RWTH-1" (TD = 2544 m depth) was drilled in 2004 to supply the future student's service center "SuperC" with geothermal energy. The economically driven geothermal project which is mainly financed by the European Union provided the unique opportunity for carrying out a first class geoscientific research program based on subsurface data. Five projects related to the RWTH-1 borehole are currently funded by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG).

From a geoscientific point of view, the Aachen area is prominent for its outstanding location at the front of the Variscan mobile belt south of the Lower Rhine Embayment. The recent and palaeo stress field as well as the geothermal, fluid and material transport processes now and in the past are in the focus of interest. We present an overview of the current results of the integrated geoscientific research which bear relevance for areas with similar tectonic setting worldwide.

Fluids play an important role in the evolution of the crust as they transport heat and materials, induce mineral reactions, control diagenesis, metamorphism and hydrothermal veining. The petrological study of the core taken in RWTH-1 revealed almost no porosity and permeability in the carboniferous to devonian (410 – 290 Ma) lithologies. Void spaces and joints have been sealed.

Within rocks and vein minerals the distribution of mobile elements (e.g. N, Ba) as well as radiogenic isotope signatures indicates pathways

and sources of hydrothermal fluids. In addition to the well characterized fault zone in the first core section, the data bring out a second major zone affected by hydrothermal fluid flow in the uncored section between 1900 and 2000 m depth. Low illite and chlorite crystallinities reveal a short termed peak temperature hydrothermal event. Dating work using Rb-Sr-, K-Ar- and U-Pb-decay systems in order to determine the age of this event is in progress.

The microstructural analysis of veins in thin sections of RWTH-1 cores indicates four different vein generations and allows the distinction between burial induced high pressure pore fluid formation and variscan compression events.

Due to petrological and microthermometric analyses these different fluid systems can be characterised. Microthermometry shows the expulsion of three main hydrothermal fluid types. These fluids were active between variscan orogeny and jurassic Pb - Zn mineralization (app. 380 to 100 Ma). Seismic energy is responsible for the development of secondary permeability caused by brittle deformation in the fold-and-thrust belt. Therefore the hydrothermal fluid flow was controlled by seismic pumping. High shear stresses are indicated by cataclasites.

Borehole breakouts and tensile fractures at the borehole wall are formed in the recent stress field. Combined with rock mechanics data they indicate a strike slip faulting regime for present days.

The physical properties of the carboniferous and devonian rocks are determined from log-

ging data and calibrated by laboratory measurements on RWTH-1 cores and cuttings. They are used for design calculations of the “SuperC” borehole heat exchanger and for the construction of a large regional 3D heat flow model of the Aachen area.

Lydia Dijkshoorn (Angewandte Geophysik, RWTH Aachen) , Renate Pechinig

## **Physical properties in the Carboniferous and Devonian Rocks drilled in the RWTH-1 borehole**

Email: [l.dijkshoorn@geophysik.rwth-aachen.de](mailto:l.dijkshoorn@geophysik.rwth-aachen.de)

We present the physical properties of the Carboniferous and Devonian Rocks drilled in the 2500 m deep RWTH-1 borehole. In total 57 cutting samples were selected at a regular interval every 50th box, resulting in a depth interval of 50 m. On the cuttings, matrix density and thermal conductivity were measured. The density varies from  $2640\text{kg/m}^3$  and  $2840\text{kg/m}^3$  with a mean of  $2780\text{kg/m}^3$ . The thermal conductivities varies between  $2.2\text{W}/(\text{m} * \text{K})$  and  $8.9\text{W}/(\text{m} * \text{K})$ . The high values can be explained by high percentage of quartz

Cores samples were available for three sections with a summarised length of 150 m. On the cores, the following physical properties are measured: Thermal conductivity, density, porosity, magnetic susceptibility, p-wave velocity and natural gamma radiation. All porosity values were  $<0.1$

The core measurements had a good fit with the associated logging measurements of the borehole wall. Using the logging measurements, the borehole could be divided in 7 zones. The 7 zone identification made it possible to derive a continues thermal conductivity profile over the entire borehole depth by using the natural gamma log for each different zone and calibrate it with the thermal conductivity of the cores. Furthermore continues heat generation profiles over the hole borehole depth are derived from the velocity and spectral gamma log.

The physical properties are used for a design calculation of the (SuperC) borehole heat exchanger and for prognostic 3D modelling of heat flow and temperature in a larger region.

---

## **2.6 AG - Archäogeophysik**



Mohamed Abdelwahab Mohamed Ali (Faculty of Earth Science and Mining, University of Dongola – Sudan) , Hans Burkhardt

## **1D, 2D and 3D Inversion of Magnetic and Resistivity Data of the Enclosure Wall in Meroe City-Sudan.**

Email: mohdabdwahab@yahoo.com

Meroe city (The Capital of Kush Kingdom) is located east of the River Nile, about 214 km north of Khartoum-Sudan. One of the most famous archaeological features in Meroe is the city wall, which is referred to as Enclosure Wall. This wall is about 3 to 4 meters thick and is composed of massive sandstone blocks embedded in mud-clayey to sandy soil. The study is intended to define the horizontal extension of this wall in some areas using magnetic survey and to estimate its vertical and horizontal extensions in some locations using 1D vertical electrical sounding, 2D resistivity imaging profile and 3D modelling and inversion of magnetic data. The magnetic gradient measurements have been carried out using Geoscan Fluxgate Gradiometer (FM36). Magnetic image of the studied area confirmed that it is possible to detect the Enclosure Wall using magnetic gradient data. This wall is shown up as broad linear non-magnetic anomaly showing zero value in the scale of magnetic map. This anomaly coincides well with the known extensions of the wall in the site map. Although vertical electrical sounding measurements as 1D data are not ideal for studying 3D bodies, but such measurements can be used at least to give general information about the vertical extension of the prospected features. Furthermore, it helps to describe geological conditions of the archaeological features and their surroundings. The 1D inversion of the resistivity sounding data, which were carried out at three locations perpendicular to the walls, reveals that the vertical extension of the wall is ranging bet-

ween 1.3 and 1.7 m. For more precise estimation of the vertical and horizontal extensions of the wall, a 2D resistivity imaging profile with spacing of 1 m was measured across the wall on the basis of 1D VES inversion results. The most prominent anomaly in that profile is displayed as a rectangular body with a length extends up to about 5 m. Its location corresponds with that in the magnetic map. The highest resistivity value ( $5700 \Omega \cdot m$ ) is attributed to hard and dry sandstone blocks of the wall. The inverted resistivity imaging section shows that the vertical extension of the wall is ranging between 1 m and 1.35 m. The synthetic data demonstrate that modelling and inversion of the magnetic anomalies in 3D with a priori information reduces much of the ambiguity associated with the interpretation of magnetic data. The priori information about the location and dimensions of the wall, which were derived from direct field observations and from resistivity results, were of great help to select good starting model for the inversion of magnetic gradient data and then ending the process in a plausible model for the wall with low rms error.

Christof Müller (Kiel/Christian-Albrechts-Universität, Institut für Geowissenschaften) , Susanne Wölz , Tobias Jokisch , Yasar Ersoy , Gert Wendt , Wolfgang Rabbel

## **Ultra-High-Resolution 2D-3D marine seismic investigation of the Limantepe/Carantina Island archaeological site (Urla/Turkey)**

Email: [cmu@geophysik.uni-kiel.de](mailto:cmu@geophysik.uni-kiel.de)

Within the scope of the SEAMAP-3D project 2D and 3D high resolution seismic investigations of the Iskele (Limantepe and Necropolis) and Carantina Island marine shore areas were carried out in October 2006. Archaeological findings indicate that relative sea level change lead to the submersion of a breakwater or fortification wall as well as other parts of the early Archaic city close to Limantepe. Also underwater today are a causeway connecting Classical Clazomenae (Carantina Island) with the mainland (Alexander the Great, late fourth century) as well as large villas and dwellings of the Hellenistic and early Imperial times.

The SEAMAP-3D project is a research and development project funded by the German Ministry of Education and Research (BMBF). An ultra high resolution 3D marine seismic acquisition system was developed for detailed archaeological site investigation. The system uses a Boomer and a parametric echo sounder as seismic sources and a pseudo-rigid 32 channel hydrophone array.

The 2D reconnaissance survey was intended to evaluate seismic penetrability of the sediments and to pinpoint locations of interest for further 3D investigation. It covered parts of Limantepe and the modern harbor in Iskele, the marine vicinity of an inundated Necropolis as well as the western part of the Carantina Island shore. The survey predominantly disclosed marine sediment layers covering the local bedrock, which is identified as a pronounced reflection below the sediments. It is characterized by

strong scattering of seismic energy documenting its rocky and brittle nature.

Two areas were selected for 3D marine seismic investigation. The first covers a 350 m x 30 m area over the submerged breakwater wall west of Limantepe and close to the modern harbor. The second spans a 120 m x 40 m area close to the south eastern shore of the Carantina Island. Both surveys reveal highly detailed images of the seabed and sub-seabed structures.

The harbor survey clearly images the sea floor topography of the submerged breakwater or fortification wall. Below the sea floor a sediment formation is imaged, which again is based on the local bedrock, possibly providing a foundation for the breakwater wall.

Due to weather constraints the first survey had to be interrupted and further work was only possible in the lee shore south east of Carantina Island. An area was chosen for the investigation, where Roman villa foundation walls are still visible at the shore. The resulting 3D seismic data cube images the inundated shore line, the underlying sediment formation and local bedrock. The seismic survey also revealed a distinct linear feature below sea floor.

Stephan Schreiber (Department of Earthquake Geology, University of Cologne, Germany) , Klaus-Günther Hinzen , Riccardo Caputo , Domenico Liberatore

## **A Quantitative Archaeoseismological Study of the Great Theatre of Larissa (Thessaly, Greece)**

Email: [stephan\\_schreiber@freenet.de](mailto:stephan_schreiber@freenet.de)

Larissa, the capital of Thessaly, is located in the eastern part of Central Greece, at the southern border of a Late Quaternary graben, the Tyrnavos Basin. Palaeoseismological, morphotectonic and geophysical investigations as well as historical and instrumental records show evidences for seismic activity in this area. The investigations documented the occurrence of several moderate to strong earthquakes during Holocene time. These active structures show recurrence intervals of few thousands of years. The historical and instrumental records suggest a period of seismic quiescence during the last 400 to 500 years. The present research, based on an archaeoseismological keynote is a multi disciplinary approach to improve the knowledge on past earthquakes, which occurred in the area. This study focuses on damages on walls of the scene building of the Great Theatre of Larissa. The Theatre was built at the beginning of the 3rd century BC and consists of a semicircular auditorium, an almost circular arena and a main scene building. Archaeological and historical investigations document a partial destruction of the theatre during the 2nd-1st century BC. Recent excavations show that the building complex after it was repaired suffered additional structural damages, probably from seismic loading. The damages investigated in detail are displacements, rotations and the rupture of numerous blocks at the walls of the scene building. In order to test the earthquake hypothesis as cause of the damages a simplified seismotectonic model of the Tyrnavos Basin and its sur-

roundings was used with a composite earthquake source model to calculate synthetic seismograms at the Larissa site for various earthquake scenarios. HVSR measurements in the theatre and its vicinity were used to estimate local site effects. The synthetic seismograms are used as the input acceleration for a numerical model of the walls, which simulates seismically induced in-plane sliding within the walls. First results show that some of the surrounding faults have the potential to produce seismic ground motion, which can induce in-plane sliding of blocks. Extended model calculations are being used to narrow down the characteristic of the ground acceleration and the causative earthquake by comparing the calculated and observed distribution of the displacements of the blocks.

Christoph Grützner (RWTH Aachen, Neotektonik und Georisiken) , Klaus Reicherter , Pablo G. Silva

## **GPR in Archeoseismology - an example from the roman ruins of Baelo Claudia, Spain**

Email: [c.gruetzner@nug.rwth-aachen.de](mailto:c.gruetzner@nug.rwth-aachen.de)

The roman ruins of Baelo Claudia are situated at the Straits of Gibraltar in the province of Cádiz, close to the modern village of Bolonia. With about 2.000 inhabitants, the city was one of the larger roman settlements on the Iberian Peninsula and delivered tons of Garum, an ancient fish-dip made of tuna, to the capital. In the 1st century, an earthquake destroyed wide parts of the infrastructure, but due to the economic importance the city was rebuilt. Later in the 4th century, when the roman star already had begun to sink, another destructive quake hit Baelo Claudia. It can be observed in the ruins - the columns and walls fell on clean pavement and are still preserved in this situation - that the event marked the end of roman settlements in this place. Yet the seismic source of the earthquakes is not clear. Paleoseismological studies showed, however, that both the Carrizales and Cabo de Gracia Faults in the immediate environs of Bolonia may produce a seismic event big enough to destroy the city. For this study 7 km of radar profiles have been collected in the ruins, using the 300 MHz GSSI antenna and the SIR2 system in most cases. This frequency provides a good compromise between penetration depth and resolution. In addition, some 240 cm low-frequency profiles have been taken in order to image the deeper structures of the area. We aimed to find out whether there are co-seismic features like landslides and liquefaction or even buried faults inside the ancient city walls. As well we expected tilted or destroyed walls and buildings that are still covered by the post-roman colluvium. Beside this, the in-

vestigations should help the local Spanish archaeologists with their work. The data do not implicate a yet unknown fault in the area but document earthquake-related damages like fallen boulders, tilted walls and the deformation of a buried aqueduct. In many parts of the ruins the post-roman colluvium can be distinguished from the older sediments. This border marks the event horizon of the last earthquake after which the settling stopped. The colluvium's thickness (or the depth of the horizon) provides information about erosion and sedimentation processes in the area. Furthermore this knowledge allows to determinate promisingly locations for probing and/or trenching. With respect to the ongoing excavations in Baelo Claudia, the data helps to plan further archaeological work. In addition to the geological information many yet unknown tombs and constructional features have been discovered.

Gundelach, V. (BGR) , Eisenburger, D. , Otto, D. , Blindow, N.

## **Erkundung von oberflächennahen Strukturen und des Grundwasserhorizontes mit Georadar in der Letzlinger Heide**

Email: gundfelach@bgr.de

Die oberflächennahe strukturelle Erkundung des Bodens und des Grundwasserhorizontes ist das Ziel von Georadar Messungen in der Letzlinger Heide. Das Messgebiet befindet sich auf einem Truppenübungsplatz. Oberflächennahe reflektierende Strukturen sind dort zu erwarten. Der Untergrund besteht aus glazialen Sedimenten. Diese setzen sich überwiegend aus Sanden mit zwischengeschalteten schluffigen und tonigen Linsen zusammen. Der Grundwasserspiegel liegt mit ca. 30 bis 50 m relativ tief. Die Geologie kann aus den vorhandenen hydrogeologischen Bohrungen nur lokal rekonstruiert werden, da lateral starke Schwankungen auftreten. Sie unterstützen jedoch die Interpretation der Radargramme. Die Messungen wurden über einem Hügel durchgeführt wodurch eine Variabilität der Teufe des Grundwasserhorizontes entstand. Es wurden unterschiedliche Antennensysteme eingesetzt und mit 25 MHz, 40 MHz, 80MHz und 200 MHz verschiedene Messfrequenzen getestet. Die Ergebnisse der Messungen werden vorgestellt und diskutiert. Mit den hohen Frequenzen können oberflächennahe Strukturen nachgewiesen werden. Nur mit den niedrigen Frequenzen wird die Eindringtiefe bis zum Grundwasserspiegel erreicht. Das Gebiet ist als Testfeld für neuentwickelte Georadarhubschraubersysteme vorgesehen. Unabhängig vom Georadar wurden im Messgebiet auch Geoelektrik und SNMR (Surface Nuclear Magnetic Resonance) eingesetzt. Diese drei zerstörungsfreien Verfahren reagieren dabei auf unterschiedliche Bodenparameter wie Leitfähigkeit, Dielektrizität und freier Was-

sergehalt und können sich bei gemeinsamer Interpretation ergänzen. Besonders die Aussagen über den Grundwasserspiegel und die Wassergehalte im Boden lassen sich optimieren.

---

## **2.7 BP - Bohrlochgeophysik und Petrophysik**

Philipp Buckup (Bohrlochservice-Philipp Buckup)

## **Korrelation von Bohrlochmessergebnissen und Proben**

Email: mamunt@bohrlochmesser.de

Als Kriterium für den Erfolg von Bohrlochmessungen gilt traditionell die Übereinstimmung mit Ergebnissen von Probenahmen. Für diese Gegenüberstellungen müssen jedoch die Voraussetzungen erfüllt sein, damit eine Vergleichbarkeit gegeben ist. Die praktische Situation verlangt jeweils modifizierte Behandlung. Die Korrelation der Analyseergebnisse von Wasserproben und Bodenproben erfordern unterschiedliches methodisches Herangehen. Die Einflußfaktoren umfassen verschiedene Umstände und erfolgreiche Ergebnisse werden nur dann erreicht, wenn die Bedingungen für die Probe und die Messung ausreichend berücksichtigt werden können. Umfangreiche Untersuchungen an Probematerialien lassen folgende Schlussfolgerungen zu: 1. Solange keine teufenbezogenen Proben entnommen werden, ist ein Vergleich mit bohrlochgeophysikalischen Daten quantitativ kaum möglich 2. Bei Bodenproben müssen Mengen verglichen werden, die bohrlochgeophysikalischen Parameter mit ausreichender Repräsentanz liefern 3. Die bohrlochgeophysikalischen Werte sollten weitgehend auf den Einfluß der Bohrlochbedingungen korrigiert werden können 4. Weitere Faktoren spielen eine wichtige Rolle, wie etwa der zeitliche Faktor, die Technologie der Probenahme, die Korngrößen der Bodenproben Da Modellarbeiten kaum den gestellten Anforderungen genügen, wurden die einzelnen Situationen untersucht, um entsprechende Empfehlungen abzuleiten, die eine Bewertung zulassen. Für eine Studie dieser Art wurde das Impuls-Neutron-Neutron-Verfahren entsprechenden Untersuchungen unterzogen. Bei

optimierter Anordnung der Probe im effektiven Bereich der Sonde werden auswertbare Abklingkurven erhalten, jedoch tritt auf Grund sonstiger Umstände ein Verlust an Empfindlichkeit ein.

Klaus Backup (Bohrlochmessungen-Dr. Backup, Magdeburg)

## **Porositätsbestimmungen aus Impuls-Neutron-Neutron-Messungen**

Email: [buckup@bohrlochmesser.de](mailto:buckup@bohrlochmesser.de)

Neutron-Logs sind geeignet, Porositätsbestimmungen vorzunehmen, was hauptsächlich durch die enge korrelative Beziehung zwischen Wasserstoffgehalt und Neutronlogansprache möglich ist. Als Hardwarevoraussetzung wird die Verfügbarkeit eines Zweikanal-Neutronlog-Systems angesehen. Es wurden Modellarbeiten durchgeführt und praktische Vergleiche mit Analysewerten vorgenommen. Es erwies sich, dass in Abhängigkeit von der Situation unterschiedliche Meßparameter herangezogen werden können: - das Zählratenverhältnis aus vergleichbaren Zeitfenstern in beiden Kanälen - die Amplitude in optimierten Zeitfenstern - die Zählratenquotienten aus frühen und späten Zeitfenstern im kurzen Meßkanal - der Anstieg der Abklingkurve. Bei der Umsetzung ergaben sich in der Praxis sowohl Fälle, wo der ausgewählte Parameter anwendbar war, es traten jedoch z.T. auch Abweichungen auf, für die die Ursachen unterschiedlicher Art sind. Bei den durchgeführten Untersuchungen erwiesen sich u.a. als derartige Einflußfaktoren - die Matrix, - der Mineralisationsgrad des Porenwassers, - der Bohrlochdurchmesser, - die Bohrlochfüllung. Diese Faktoren haben keine Auswirkung auf die eigentliche Abhängigkeit der Porosität von der NN-Anzeige, aber auf die Auswahl des maximal reagierenden Zeitintervalles der Abklingkurve. Um Fehlbestimmungen zu vermeiden, wird empfohlen, wenigstens mit zwei Parametern unabhängig zu arbeiten.



Gunther Baumann (TU Berlin), Martin Müller, Ugur Yaramanci

## Der Einfluss von paramagnetischem Eisen in NMR-Messungen an synthetischen und natürlichen porösen Medien

Email: [guntherbaumann@aol.com](mailto:guntherbaumann@aol.com)

Ziel dieser Arbeit ist die systematische Untersuchung des Einflusses von paramagnetischem Eisen auf das NMR-Signal (Nuclear Magnetic Resonance) an natürlichen und porösen Medien.

Mit steigender Konzentration an paramagnetischen Stoffen relaxieren die Wasserstoffprotonen schneller, wodurch es zu einer Erniedrigung der Abklingzeiten kommt. Die aus bekannten empirischen Beziehungen bestimmte Permeabilität (z. B. Kenyon (1997)) wird dann automatisch als zu gering abgeschätzt. Daher ist die Untersuchung von paramagnetischen Ionen und Verbindungen, die einen Einfluss auf das NMR-Abklingverhalten haben, unter Einbeziehung der hydrochemischen und geologischen Randbedingungen, unter denen diese Ionen und Verbindungen auftreten, von großer Bedeutung, und heute noch ein aktueller Forschungsschwerpunkt in der NMR-Technik (Foley et al. 1996).

Es wurden sowohl synthetische Materialien aus Glasperlen mit fünf unterschiedlichen Korngrößenverteilungen (40-70, 100-110, 250-500, 400-600, 1000  $\mu\text{m}$ ) als auch natürliche Materialien aus gesiebten Sanden mit zwei unterschiedlichen Korngrößenverteilungen (60-300, 250-500  $\mu\text{m}$ ) zur Simulation der Matrix verwendet. Jede Korngrößenverteilung der Glasperlen und Sande wurde mit sechs Lösungen unterschiedlicher  $\text{Fe}^{3+}$ -Konzentrationen (1000, 100, 10, 1, 0.1, 0.01 mg/l) gesättigt.

Mit steigender  $\text{Fe}^{3+}$ -Konzentration kommt es sowohl zur Erniedrigung der longitudinalen ( $T_1$ ) als auch der transversalen Relaxation ( $T_2$ ). Dabei haben die  $\text{Fe}^{3+}$ -Ionen verschiedene Ein-

flüsse auf die Relaxationsanteile, je nach dem, ob sie in Lösung oder auf der Matrixoberfläche sorbiert oder als Eisenoxide auf der Matrixoberfläche vorkommen (Bryar et al., 2000).

Bei sehr großen  $\text{Fe}^{3+}$ -Konzentrationen von 1000 und 100 mg/l ist die Relaxation ausschließlich von der Volumenrelaxation des Porenfluids abhängig. Die 10 mg/l Konzentration kann als Übergang von der ausschließlich durch die Volumenrelaxation dominierten Relaxation, zur Relaxation in der auch die Oberflächenrelaxation und die Diffusionsrelaxation an Einfluss gewinnen, angesehen werden. Bei den  $\text{Fe}^{3+}$ -Konzentrationen von 1, 0.1 bzw 0.01 mg/l bestimmen die Korngrößenverteilungen bzw. die spezifischen Oberflächen die Relaxation. Mit größerer mittlerer Korngröße bzw. geringer spezifischer Oberfläche erhöhen sich die Abklingzeiten.

Die  $\text{Fe}^{3+}$ -Konzentrationen und daher auch die Abklingzeiten der abgeschiedenen Porenfluide sind größer als die der ursprünglich verwendeten  $\text{Fe}^{3+}$ -Lösungen. Daher sind  $\text{Fe}^{3+}$ -Ionen an der Matrixoberfläche sorbiert bzw. Eisenoxide ausgefallen, die zu einer Erhöhung der Oberflächenrelaxivitäten und der Feldgradienten führen.

Zur genaueren Untersuchung der Feldgradienten wurden  $T_2$ -Messungen mit variabler Diffusionszeit  $\tau$  durchgeführt. Trägt man  $1/T_2$  gegenüber  $\tau^2$  auf, stellt sich, entgegen den Erwartungen, ein nicht linearer Zusammenhang ein, welcher durch nicht konstante Feldgradienten verursacht wird. Dabei weisen die kleineren Poren größere Feldgradienten als die größeren Po-

ren auf. Mit steigender Korngröße bzw. geringerer spezifischer Oberfläche erniedrigen sich die Feldgradienten. Diese Untersuchung speziell an Eisen steht exemplarisch für paramagnetische Stoffe, die die Relaxation beeinflussen können.

Bryar, T. R., Daughney, C. J., Knight, R. J., 2000. Paramagnetic effects of iron (III) species on nuclear magnetic relaxation of fluid protons in porous media. *Journal of Magnetic Resonance* (142), 74-85.

Foley, I., Farooqui, S. A., Kleinberg, R. L., 1996. Effect of paramagnetic ions on nmr relaxation of fluids at solid surfaces. *Journal of Magnetic Resonance* (123), 95-104.

Kenyon, W., 1997. Petrophysical principles of applications of nmr logging. *The Log Analyst*, March-April, 21-43.

Jörg Renner (RUB) , Timo Stahl , Insun Song , Alexander Graphchikov

## Physical Properties of Fontainebleau Sandstone and Their Relationship to Grain Contiguity

Email: joerg.renner@rub.de

We measured the ultrasonic velocity, hydraulic permeability and specific storage capacity, electrical conductivity, and triaxial strength of several blocks of Fontainebleau sandstone covering a range in connected porosity from 0.03 to 0.10 and varying significantly in cementation for a specific porosity. Ultrasonic P-wave velocity measured on water-saturated samples covers the full range between the upper and lower Hashin-Shtrikman bounds. Permeability and specific storage were determined by the linear pressurization method at different effective pressures up to 180 MPa at room temperature. The permeability of tested samples varies from  $10^{-13}$  down to  $10^{-20}$  m<sup>2</sup> depending primarily on porosity, subordinately on effective pressure. Specific storage capacity always exceeds the contribution of the compressible fluid alone. The excess corresponds to the contribution of pore compressibility controlled by the pore geometry. Since the sandstone samples are composed of a single solid component, quartz, we were able to calculate various poroelastic parameters (Biot-Willis and Skempton coefficients, drained and undrained bulk moduli) crucial for estimating hydro-mechanical coupling in fluid-saturated porous media. Addressing the effective pressure of the poro-elastic parameters by the contiguity model of Takei (1998) yields excellent agreement between bulk moduli determined from the hydraulic tests and the ultrasonic investigations. Permeability and electrical conductivity also exhibit systematic correlations with grain contiguity estimated from the hydraulic tests probably through their relations with speci-

fic surface area. The correlation between triaxial strength and contiguity suggests that failure conditions for individual grains control macroscopic failure.

Christian Koller (Dresdner Grundwasserforschungszentrum)

## **Ermittlung geohydraulischer Parameter anhand der Analyse von Probenmaterial und Auswertung geophysikalischer Bohrlochmessungen an einer Wasserbohrung**

Email: ckoller@dgfz.de

Zur sinnvollen Bewirtschaftung von erschlossenen Grundwasservorkommen ist die Kenntnis geohydraulischer Parameter von unschätzbare Bedeutung. Das Ziel dieser Arbeit besteht deshalb darin, differenzierte Aussagen zu hydraulisch relevanten Parametern anhand des Probenmaterials und geophysikalischer Bohrlochmessverfahren zu treffen. Endziel sind orientierende Aussagen über die Permeabilität aus geophysikalischen Bohrlochmesskurven (insbesondere Widerstandslogs, Gamma- und Gamma-Gamma-Log). Für die Studie bilden die geophysikalischen Bohrlochmessdaten und das gestörte Probematerial einer Bohrung, welche ein Delta des Sarmatium erschließt, am nördlichen Rand des Oststeirischen Beckens (Österreich) die Grundlage. Aus den fein-grobkörnigen Wechsellagerungen der Bohrung werden anhand der Bohrkleinansprache, in Kombination mit den geophysikalischen Bohrlochmessungen, die Aquifere angesprochen und beprobt. Beim Probenmaterial der Aquifere wird die Durchlässigkeit in der hydraulischen Zelle bei verschiedenen Lagerungsdichten und in der Triaxialzelle, jeweils bei konstanter Druckhöhe, bestimmt. Orientierende Aussagen zur Permeabilität liefern die Kornsummenkurve und ein selbstkonstruierter Versuch (nachempfunden nach Darcy und Archie). Der Porenraum wird über Widerstandsmessungen und näherungsweise über die Korngrößenverteilung bestimmt. Für die Stauer werden Durchlässigkeitswerte in der Triaxialzelle bei konstanter Druckhöhe ermittelt. Die exper-

imentell bestimmten Daten werden einerseits den Ergebnissen der Bohrlochgeophysik gegenübergestellt und fließen andererseits gemeinsam mit diesen in neue Berechnungen ein. Es besteht eine gute Korrelation zwischen der experimentell bestimmten Durchlässigkeit und der Porosität aus den geophysikalischen Messungen. Die näherungsweise Bestimmung der Durchlässigkeit aus geophysikalischen Bohrlochmessdaten erfolgt indirekt über Korrelationen mit zwei Untersuchungsrichtungen. Einerseits wird mit einer Regression, welche mathematisch über den Logarithmus realisiert wird, gearbeitet und andererseits mit Exponentialfunktionen. Beide Untersuchungsrichtungen ergeben gute Abschätzungen der Permeabilität aus geophysikalischen Bohrlochmesskurven und besitzen die Randbedingung, dass sie nur im Aquiferbereich Gültigkeit besitzen.

Matthias Jungmann (Fraunhofer Institut Angewandte Informationstechnik)

## **Texturbasierte Gesteinsklassifizierung in elektrischen Bildern von Bohrlochwänden**

Email: [matthias.jungmann@fit.fraunhofer.de](mailto:matthias.jungmann@fit.fraunhofer.de)

Elektrische Widerstandsbilder stellen farb-kodiert die elektrischen Eigenschaften an der Bohrlochwand dar. Die Rekonstruktion der Bohrlochlithologie basiert meistens auf einer visuellen Analyse dieser Bilder und stellt damit einen langwierigen Prozess dar. Durch eine automatisierte Analyse kann der Geologe entlastet werden und die eingesparte Zeit auf die wichtigen geologischen Fragestellungen verwenden. Methoden des überwachten Lernens, die aus der Mustererkennung bekannt sind, haben wir auf das Problem der Lithologie Rekonstruktion angewendet. Die verschiedenen Gesteinsarten werden aufgrund lokaler Unterschiede der elektrischen Eigenschaften klassifiziert. Diese lokalen elektrischen Eigenschaften können mit Methoden der Texturanalyse quantitativ beschrieben werden. Es wird eine texturbasierte Analyseketten vorgestellt, mit der 6 Gesteinsarten in einem Datensatz unterschieden werden, der in der Bohrung 197 Site 1203A gewonnen wurde. Dazu wurden Trainingsintervalle aus dem Datensatz extrahiert und manuell einer Gesteinsart zugeordnet. Auf diesen werden verschiedene Texturmerkmale berechnet und für das Trainieren eines Klassifikationsverfahrens verwendet. Da eine Unterscheidung von mehr als 2 Klassen zu Problemen führen kann, wird eine Erweiterung einer Standardklassifizierung vorgestellt, bei der mehrere 2-Klassen (binäre) Klassifizierer kombiniert werden. Auf einem Testdatensatz wird mit dieser Methode eine Klassifikationsgüte von mehr als 85% für die einzelnen Gesteinsarten erreicht. Die kombinierten binären Klassifizierer werden ebenfalls auf den gesam-

ten Datensatz angewendet. Verglichen mit einem Standardverfahren ergeben sich bessere Erkennungsraten einzelner Gesteinsarten, ferner stabilere Resultate in größeren Intervallen derselben Gesteinsart.

Wiete Schönfelder (Universität Leipzig), H.-R. Gläser, F. Stallmach

## **Charakterisierung der Porenraumstruktur von Karbonat-Gesteinen verschiedener Genese**

Email: [w.schoenfelder@physik.uni-leipzig.de](mailto:w.schoenfelder@physik.uni-leipzig.de)

Unter Anwendung der kernmagnetischen Resonanz (NMR-Relaxometrie, NMR-Diffusometrie) und weiteren petrophysikalischen Verfahren wurde die Porenraumstruktur von Karbonat-Gesteinen (Kalkstein, Dolomitstein) eines Zechsteinaquifers untersucht. Ziel war neben der Prüfung der Anwendbarkeit der NMR das Auffinden genesebedingter Unterschiede zwischen den Kalk- und Dolomitsteinen in Porosität, Porengrößenverteilung und Tortuosität.

NMR-Messungen wurden bei einer Resonanzfrequenz von 9,1 MHz an wassergesättigten Proben der Karbonat-Gesteine durchgeführt. Die aus den NMR-Signalintensitäten ermittelten Porositäten von 11-21 % stimmen gut mit den durch andere Verfahren gewonnenen Ergebnissen überein. Die Auswertung von Quecksilberdruckporosimetrie-Messungen belegt, dass die T2-Relaxationszeitverteilungen der Gesteine hauptsächlich durch Porengrößenverteilungen hervorgerufen werden. In ihrer Ausprägung unterscheiden sich die Verteilungen jedoch deutlich für beide Gesteinsklassen. Während bei den Proben aus Kalkstein über 70 % des Porenvolumens durch Poren im Größenbereich 1-10  $\mu\text{m}$  repräsentiert wird, weisen die dolomitischen Proben eine breitere (0,2-100  $\mu\text{m}$ ), bimodale Porengrößenverteilung auf. Bestätigt wird dieser Unterschied durch die mit NMR-Diffusionsexperimenten bestimmten hohen Tortuositäten der Dolomitsteine.

Hinsichtlich Porosität, Porengrößenverteilung und Tortuosität liefern die zerstörungsfreien Verfahren der NMR für die untersuchten

Karbonate ein in sich geschlossenes und mit den Ergebnissen gängiger Methoden zur Untersuchung des Porenraums von Gesteinen übereinstimmendes Bild.

Regina Kappes , Haifa Rifai (GGA-Institut) , Matthias Selg , Thomas Wonik

## **Bestimmung von Porositätstypen in Karbonaten mittels NMR-Spektroskopie**

Email: H.Rifai@gga-hannover.de

Poren, ihre Größe und Verteilung sowie das Ausmaß ihrer Verbindung untereinander sind von großer Bedeutung für viele geowissenschaftliche Fragen. Im Vordergrund stehen dabei Speicherung und Transport von Gasen und Fluiden (Kohlenwasserstoffe, Grundwasser) und in diesem Zusammenhang die Fragen nach dem Umfang der Ressource und ihrer Gewinnbarkeit.

Der Oberjura der Schwäbischen Alb ist ein für die überregionale Wasserversorgung genutzter Grundwasserleiter. Neben Klüften und Karsthohlräumen treten weitere Porentypen auf, deren Bedeutung für die Grundwasserspeicherung und -leitung bisher wenig untersucht wurde, denn im Allgemeinen wird die Gesamtporosität und damit die Speicherkapazität des Aquifers den Klüften zugeschrieben. Allerdings wurden aus hydraulischen Versuchen Porositäten von 2 - 3 % abgeleitet, was für eine reine Kluftporosität sehr hoch ist. Daher stellt sich die Frage, inwieweit andere Porentypen, die aus einer komplexen diagenetischen Entwicklung resultieren, zur Permeabilität und zur Speicherkapazität der Gesteinsformation beitragen. Die Bestimmung der Porenverteilung ist hierfür von wesentlicher Bedeutung.

Die kernmagnetische Resonanzspektroskopie (nuclear magnetic resonance – NMR) ist eine etablierte Methode zur Untersuchung poröser Materialien. Ihren Erfolg verdankt sie der Möglichkeit, neben der Porosität auch die Porenverteilung einer Probe ermitteln zu können. Bei den hier untersuchten oberjurassischen Karbonaten treten auf Grund der unterschiedlichen

Porengeneese verschiedene Typen von Porositäten auf, die mit Hilfe von NMR-Messungen untersucht wurden.

Die Porositäten und Porenverteilungen wurden an 45 Proben aus 15 verschiedenen Tiefen bis zu 46,4 m der Karstbohrung Wilsingen NMR-spektroskopisch untersucht, um das Speichervermögen des Gesteins zu bestimmen und mögliche Einflüsse auf Transportprozesse zu erkennen. Dazu wurde die gesamte, nicht den Klüften zuzuordnende Porosität bestimmt. Weitere wesentliche Aspekte waren die Identifizierung der unterschiedlichen Porositätstypen, ihre Anteile an der Gesamtporosität sowie die Zuordnung verschiedener Porentypen zu den mit NMR gemessenen Porositätstypen.

Die Porenverteilung – abgebildet durch die  $T_2$ -Zeitenverteilungen der Proben – lassen sich in zwei Porositätsbereiche einteilen, die durch eine cut-off-Zeit von ca. 500 ms getrennt sind. Der Anteil mit  $T_2$ -Zeiten kleiner 500 ms wird Mikroporosität genannt, der andere Makroporosität. Die Mikroporosität umfasst alle relativ kleinen Poren bis zu ca. 1 mm Durchmesser. Zu ihr zählen inter- und intragranuläre Poren sowie interkristalline Poren. Der Makroporosität werden Gesteins- und Partikellösungsporen („vugs“ und „molds“) zugeordnet. In sparitischen Bereichen wurde ein weiterer, der Mikroporosität zuzuordnender, Porentyp identifiziert. Das Wasser in den Poren dieser Zuckerkornfazies hat ein  $T_2$ -Zeitenmaximum bei ca. 300 ms und läßt sich deutlich von den anderen Porentypen im Bereich der Mikroporosität unterscheiden.

Die gemessenen Gesamtporositäten liegen

zwischen 2,5% und 17%, wobei die Mikroporosität von 1 – 6% variiert, die Makroporosität von 1 – 13%. Die Unterscheidung dieser Porositätstypen gelingt allein aufgrund von NMR-Messungen und bedarf keiner Vorkenntnisse über die Porentypen im Gestein.



Firas Alali (Applied Geosciences, TU-Berlin) , Martin Müller , Ugur Yaramanci

## Dependence of NMR and SIP Parameters on Clay Content

Email: firasalali@yahoo.com

This study aims the assessment the petrophysical properties of rocks such as pore size by use of Nuclear Magnetic Resonance (NMR) and Spectral Induced Polarisation (SIP) in particular related to the clay content. Furthermore, it is focused on comparing NMR and SIP results to determine if there is a relationship between them.

NMR is mainly known in geophysics from well logging applications and laboratory measurements of cores. The advantage of NMR is based on its direct sensitivity to hydrogen atoms ( $^1H$ ) (Kenyon, 1997). SIP technique is commonly used in the laboratory to assess complex resistivity over a wide frequency band from parts of mHz to MHz. Main findings in SIP measurements are that the imaginary part and the frequency dependency provides valuable additional information about the pore space (Müller, Yaramanci, 2005).

The samples investigated were composed of sand with different percentages of clay portions (0, 1, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 15, 18, 20, 30, 50, 70, 100 W. %). In addition, natural samples from different sites with various characteristics were also used. For the measurements a Solartron SI 1260 (Schlumberger) and, a Maran Ultra 2 MHz (Resoance Instruments) were used.

With NMR it was consequently noted that: For a mixture of sand and clay, the width of the pore size distribution (from NMR-DXP Programm) is large compared to samples with pure sand or with high proportion of clay. If the width of the pore size distribution is small, the value of the maximum of the distribution is quite clear to identify. The relation between NMR porosity

(the porosity calculated from NMR amplitudes) and the density porosity is very distinct.

The NMR decay curves are fitted both bi-exponentially and multi-exponentially. It is shown that the average value of the bi-exponential adjustment ( $T_{avr}$ ) with the maximum value of the multi-exponential adjustment  $T_{max\ dis}$  correlate well.

In the case of small clay content (1 - 10 %) T strongly decreases when clay content is increased and, this decrease gets small for samples of medium proportions of clay (12 – 18 %). It becomes even smaller in the samples of high proportion of clay content (20 – 100 %).

The relationship between clay content and SIP amplitude (i.e. conductivity) is linear, whereby with increasing clay content, the amplitude is increased. On the other hand, there is no clear relationship between clay content and SIP phase. Therefore, real and imaginary parts of the conductivity instead of the amplitude and phase are used.

With comparison of the SIP parameters with the NMR relaxation times, a clear clustering of the samples with the dependence on the clay content is obtained. The relationship between real part of conductivity ( $\sigma'$ ) and clay content is almost linear. With increase of the clay content,  $\sigma'$  increases. The relationship between clay content and imaginary part of conductivity ( $\sigma''$ ) is not clear. With increase of  $\sigma'$ ,  $\sigma''$  the relaxation time decreases. The investigation of the explicit relationship is a subject of the future research.

References:

[1] Kenyon, W., 1997. Petrophysical princip-

les of applications of nmr logging. *The Log Analyst* 38 (2), 21-43.

[2] Müller, M., Yaramanci, U., 2005, Soil characterization by combining spectral induced polarization (SIP) and nuclear magnetic resonance (NMR). *Proceedings of the 65. Annual Conference of the German Geophysical Society*, 32ff.

Sabine Hunze (GGA Institut Hannover) , Thomas Wonik

## **Lithologische und strukturelle Charakteristika des Lake Bosumtwi Impaktkraters, Ghana: Interpretation der Televiever Bilder**

Email: [sabine.hunze@gga-hannover.de](mailto:sabine.hunze@gga-hannover.de)

Bosumtwi ist ein gut erhaltener 1,07 Ma alter, komplexer Impaktkrater in Ghana (Afrika). Die Impaktstruktur hat einen Durchmesser von ungefähr 10,5 km und wurde vor 2,1-2,2 Ga in Präbrischen metasedimentären und metavulkanischen Gesteinen gebildet. Die Bohrungen und Bohrlochmessungen wurden im Rahmen des Lake Bosumtwi Drilling Project (BCDP) durchgeführt, was vom International Continental Scientific Drilling Program (ICDP) unterstützt wird. Ziel dieses Projekts ist es, detaillierte Informationen über die Oberflächenstruktur und die Kraterfüllung in einem der am besten erhaltenen jungen Impaktstrukturen zu erhalten. Unsere Arbeit bezieht sich ausschließlich auf das Bohrloch LB 08-A, da hier konventionelle Bohrlochmessungen (wireline logs), Televiever Daten und Kerne in dem Bereich mit Impaktgesteinen vorliegen. Die Datenqualität der Bohrlochmessungen und der Televiever Bilder wurde überprüft, ein Auswerteverfahren zur Interpretation der Bruch-Strukturen verwendet und die statistische Methode der Diskriminanzanalyse zur einheitlichen Rekonstruktion der Lithologie im Bohrloch sowie der Bestimmung der wichtigsten physikalischen Eigenschaften angewendet. Die physikalischen Eigenschaften umfassen die natürliche Radioaktivität, den flach eindringenden spezifischen elektrischen Widerstand, die p-Wellengeschwindigkeit, die magnetische Suszeptibilität und den Bohrlochdurchmesser. Ausgenommen der natürlichen Radioaktivität unterscheiden sich diese Eigenschaften in der Impakt-Brekkzie deutlich von denen der Meta-Grauwacke und Schiefer/Phyllit.

In den Televiever Bildern werden Brüche beobachtet und im Hinblick auf ihre charakteristischen strukturellen Merkmale interpretiert. Die meisten Brüche sind offene Brüche, es werden aber auch geschlossene Brüche beobachtet. Das Einfallen der Brüche ist steil ( $50^{\circ}$ - $70^{\circ}$ ) und es gibt zwei Hauptrichtungen im Streichen: Südost und Südwest. Die beobachtete Hauptstressrichtung ist Nord-Süd.

Klaus Lehmann (Geologischer Dienst NRW)

## **Bohrlochkorrektur für Gamma-Ray-Logs - Strategien für die Praxis**

Email: klaus.lehmann@gd.nrw.de

Bei geophysikalischen Bohrlochmessungen wird die Aufnahme von Gamma-Ray- (GR-) Logs bevorzugt als Standardverfahren benutzt, um Aussagen über die Lithologie des umgebenden Gesteins einer Bohrung machen zu können. Attraktiv für den Nutzer ist die Tatsache, dass der entsprechende Messwert der natürlichen Gammastrahlung unter bestimmten Voraussetzungen unmittelbar in Beziehung zu praxisnahen Parametern wie Ton- oder sogar Kalkgehalt gesetzt werden kann. Weiterhin wird die Anwendung dadurch gefördert, dass GR-Logs als eine von wenigen geophysikalischen Erkundungsmethoden auch in stahlverrohrten Bohrlöchern eingesetzt werden kann. Damit wird auch die Messung unmittelbar nach dem Bohrvorgang im Gestänge möglich, so dass auch bei einsturzfährdeten Bohrlöchern, etwa im Lockergestein, erkundet werden kann. Besonders bei schnellen Bohrverfahren mit schlechter Probenlage wird das Verfahren wegen seines geringen Aufwandes und hoher Aussagekraft in den Anwendungsbereichen der Landesaufnahme, des Brunnenbaus und der Geothermie geschätzt.

Zur Vergleichbarkeit von GR-Logs, die von unterschiedlichen Bohrungen stammen, müssen die Messwerte um die Störeinflüsse der individuellen Bohrlochbedingungen korrigiert werden. Dabei spielen insbesondere die geometrische Konfiguration von Bohrloch, Verrohrungen und Sonde, sowie Beschaffenheit von Rohren, Bohrlochfluid und Ringraumverfüllung eine Rolle. Einfach anzuwendende Abschätzungen zur Ermittlung von Korrekturfaktoren für unterschiedliche Bedingungen wurden bereits

vielfach in der Literatur sowie in Publikationen der Industrie veröffentlicht. Skalierungsbezüge sind abhängig von der Anwendung einheitlicher Standards der Hydrogeologie oder der Erdölindustrie. Eine detaillierte Korrekturrechnung kommt in der technischen Anwendung jedoch selten zum Einsatz. Auch Übergangsbereiche unterschiedlicher Bohrlochbedingungen werden kaum berücksichtigt, meist aufgrund fehlender Informationen. Eine Verfeinerung der Auswertung setzt eine sorgfältige Aufnahme der Randbedingungen der Messungen voraus.

Beispiele aus der Praxis der Bohrlochmessungen für die geowissenschaftliche Landesaufnahme zeigen, dass die Nutzung dieser Informationen für Korrektur- und Fehlerrechnungen die Aussagekraft der GR-Logs verbessert. Die konsequente Anwendung und Kombination von Korrekturverfahren für kleinkalibrige Bohrlochtools mit einhergehender Abschätzung der Fehlerintervalle ermöglicht belastbare Interpretationen der GR-Logs bis hin zur quantitativen Auswertung in der Feinstratigraphie. Gleichzeitig lässt sich die Einordnung von Logintervallen in die für die Landesaufnahme bedeutenden geophysikalischen Normalprofile mit größerer Zuverlässigkeit leisten.

Sven Nordsiek (TU Clausthal, Institut für Geophysik) , Andreas Weller

## Spektrale Induzierte Polarisation an Lignit

Email: sven.nordsiek@tu-clausthal.de

Beim untertägigen Abbau von Lignit (Hartbraunkohle) im slowenischen Velenje werden immer wieder Gaseinschlüsse angetroffen, die durch die damit verbundene Explosionsgefahr ein hohes Risiko darstellen. Im Rahmen eines Forschungsprojektes werden geophysikalische Bohrlochmessverfahren auf ihre Eignung zur frühzeitigen Erkennung möglicher Gaseinschlüsse in der Braunkohle getestet. Zusätzlich zu den Messungen vor Ort werden im Labor petrophysikalische Untersuchungen an Braunkohleproben durchgeführt. Ziel ist es, Parameter zu finden, anhand derer eine Klassifizierung der Kohle in Lithotypen vorgenommen werden kann. Neben der Bestimmung der seismischen Geschwindigkeiten, der Korndichte und der Dielektrizitätskonstante erfolgen Messungen der Spektralen Induzierten Polarisation (SIP).

Die elektrischen Spektren werden an zylindrischen Proben mit ca. 20 mm Durchmesser und einer Länge von ca. 35 mm gemessen. Um die Braunkohle möglichst im natürlichen Zustand zu untersuchen, wird die Probe sofort nach dem Herausbohren in eine am Institut für Geophysik der TU Clausthal entwickelte Messzelle eingebaut. Mittels Wägung vor dem Ein- und nach dem Ausbau wird kontrolliert, ob sich der Wassergehalt der Probe während der Messungen wesentlich verändert hat. Die Messungen werden mit einer SIP-Fuchs-Apparatur der Firma Radic Research durchgeführt. Dargestellt und ausgewertet werden die Spektren des Betrags des elektrischen Widerstands und des Phasenwinkels für einen Frequenzbereich von 2,8 mHz bis 750 Hz.

Die bisher gewonnenen Spektren von insge-

samt 17 Braunkohleproben zeigen ohne Ausnahme einen Anstieg des Phasenwinkels an den Rändern des untersuchten Frequenzbereichs bis ca. 50 mrad. Bei höheren Frequenzen ( $> 100$  Hz) kann diese Beobachtung mit elektromagnetischen Kopplungseffekten erklärt werden. Der Anstieg im niederfrequenten Bereich ( $< 0,1$  Hz) wurde bereits bei verschiedenen Holzarten beobachtet. Eine genauere Erklärung dieses Effektes steht noch aus. Neben diesen Gemeinsamkeiten zeigen die Braunkohle-Spektren im Bereich zwischen 0,1 und 100 Hz erkennbare Unterschiede, die eine Unterteilung in drei Gruppen zulassen:

1. Flache Spektren ohne Phasenmaximum (5 Proben),
2. Spektren mit einem Phasenmaximum bei ca. 1 Hz (8 Proben) und
3. Spektren, die bei etwa 10 Hz ein Phasenmaximum aufweisen (4 Proben).

Inwieweit diese Unterteilung zu einer Klassifizierung in Lithotypen genutzt werden kann, muss noch überprüft werden. SIP-Messungen an weiteren Proben sowie die petrographische Analyse jeder gemessenen Probe sind vorgesehen.

Annegret Raschick (GGA-Institut Hannover)

## **Skaleneffekt bei Messungen der Induzierten Polarisation im Bohrloch, an der Erdoberfläche und an Kernproben**

Email: [Annegret.Raschick@gga-hannover.de](mailto:Annegret.Raschick@gga-hannover.de)

Bei geoelektrischen Messungen zeigt sich der Effekt der Induzierten Polarisation (IP) dadurch, dass nach Einschalten des Speisestroms die Spannung nicht sofort ihren Maximalwert erreicht, sondern erst einen Teilbetrag. Von diesem Teilbetrag aus baut sich die Spannung kontinuierlich bis zu ihrem maximalen Wert auf. Gleiches lässt sich beim Abschalten des Stromes beobachten. Die gemessene Spannung fällt nicht sofort auf Null, sondern erreicht erst einen bestimmten Wert. Von diesem Wert fällt die Spannung nach und nach bis auf Null ab. Die Ursachen der IP liegen zum einen im Wechsel zwischen der elektronischen Leitfähigkeit erzhaltiger Matrixkomponenten und der elektrolytischen Leitfähigkeit des Porenfluides und zum anderen in der unterschiedlichen Beweglichkeit der Ionen des Porenfluides. Die IP ist eine Methode, die die Frequenz- bzw. Zeitabhängigkeit der elektischen Leitfähigkeit verwendet. Die Messung kann sowohl im Zeitbereich als auch im Frequenzbereich erfolgen. Bei der verwendeten Bohrlochsonde wird der IP-Effekt im Zeitbereich ermittelt. Dabei wird nach Abschalten des Stromes das Abklingverhalten der Spannung untersucht.

Um die Vergleichbarkeit von IP-Messungen im Bohrloch, an der Erdoberfläche und im Labor an Proben zu überprüfen, werden zu vorhandenen Bohrlochmessungen im Bereich der Bohransatzpunkte IP-Messungen an der Erdoberfläche durchgeführt und ausgewählte Kernproben im Labor analysiert. Dabei werden die Kerne aufgrund der Ergebnisse der Bohrlochmessungen bezüglich Besonderheiten im Log

beprobt. Als Untersuchungsobjekte dienen zwei Lockergesteins-Kernbohrungen im Heidelberger Becken, einem mächtigen Sedimentbecken, das Abfolgen aus dem jüngeren Tertiär und Quartär umfasst. Die erste Bohrung befindet sich im Stadtgebiet von Heidelberg und wurde vorläufig bis auf ca. 200 m Tiefe abgeteuft, die zweite wurde im Raum Viernheim bis auf 350 m abgeteuft.

M. A. Strutz , T. Meier (Ruhr-Universität Bochum) , M. Alber

## **Messmethoden zur Bestimmung elastischer Moduln von Gesteinsproben mittels Ultraschall**

Email: [meier@geophysik.rub.de](mailto:meier@geophysik.rub.de)

Die elastischen Moduln ( $E$ ,  $\nu$ ,  $G$ ,  $K$ ) sind wichtige petrophysikalische und ingenieurgeologische Kenngrößen zur Charakterisierung der Eigenschaften von Gesteinen. Sie können mittels Ultraschall an Gesteinsproben im Frequenzbereich zwischen ca. 50 kHz und 800 kHz bestimmt werden. Dazu wird neben der P-Wellengeschwindigkeit und der Dichte der Probe eine weitere unabhängige Ausbreitungsgeschwindigkeit benötigt. Es werden 3 Messmethoden zur Bestimmung der elastischen Moduln am Beispiel von Sandsteinproben vorgestellt. Zum einen können  $v_p$  und  $v_s$  mittels Durchschallung bestimmt werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Berechnung von  $v_s$  aus der Rayleighwellengeschwindigkeit, die entlang eines Profils an der Probenoberfläche bestimmt wird. Auch  $v_p$  kann durch Profilmessung bestimmt werden, so dass nur eine Fläche der Probe benötigt wird, um die elastischen Moduln zu bestimmen. Ein drittes Verfahren ist die Bestimmung von  $v_p$  und  $v_d$ , wobei  $v_d$  mittels Resonanzverfahren aus den Eigenfrequenzen eines Bohrkerns berechnet wird. Es zeigt sich, dass die 3 Verfahren konsistente Ergebnisse liefern. Der Fehler im Elastizitätsmodul beträgt ca. 2-8 %. Die Messanordnungen und Registrierbeispiele werden vorgestellt.

Zhizhan Wang , Xinhua Ci , Gang Yu , Tilman Hanstein (KMS Technologies-KJT Enterprises) , Kurt M. Strack

## **Application of Magnetic Resonance Mud Logging for Rapid Reservoir Evaluation**

Email: [Tilman@kmstechnologies.com](mailto:Tilman@kmstechnologies.com)

Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Mudlogging (MR-ML™) technology has been widely used in many Chinese oilfields and successfully solved critical problems such as: low SNR from small cuttings, well site reservoir characterization, rapid formation evaluation, and long sample preparation time for conventional core measurement. This technology realizes the transformation of reservoir petrophysical analysis from laboratory to drilling site, and extended the analysis samples from conventional cores to small fresh cuttings, sidewall cores and formation fluids. The formation petrophysical properties of small cuttings measured by NMR mudlogging system include total porosity, effective porosity, absolute permeability, probable minimum and maximum permeability, irreducible water (liquid) saturation Swirr, free water (fluid) saturation, oil saturation, etc. When used in the laboratory, the technology can deliver most standard NMR petrophysical parameters. In addition, this technology has many advantages such as small quantity of samples, short analysis time, low cost, nondestructive, multiple parameters from a single sample, high accuracy, excellent repeatability, measurement and analysis while drilling. It is a low-cost alternative for log calibration and even a replacement when it is difficult to obtain NMR logs from a wireline tool. Magnetic Resonance Mudlogging (MR-ML™) technology can effectively evaluate formation petrophysical properties, reserve and capacity of interstitial liquid by rapidly and accurately analyzing

petrophysical parameters (porosity, permeability, FFI, BVI, oil saturation, etc.) of cuttings, core plugs and sidewall cores on the drilling site, and then provide valuable and critical information for onsite decision-making of drilling and well completion. In recent years, a few thousands of cuttings and core samples have been measured by the NMR mudlogging system and excellent application results of this technology have been achieved by mudlogging industry in six Chinese oilfields: 1) Petrophysics evaluation: reservoir quality on the basis of high reliability of porosity and permeability measurements. 2) Pore structure evaluation: NMR differential curves (T2 spectra) and cumulative curves have good relationship between the distribution of pore throat radius and capillary pressure curves, thus pore structure can be evaluated. 3) Pore fluid features: The T2 spectra of the processed cuttings include information about the content of pore fluid and oil property. 4) Testing layer determination by Swirr and FFI measurements. 5) Geopressure evaluation: Formations with abnormal pressure yield to a strong change of NMR porosity with depth. The fracture pressure gradient can be rapidly calculated.



Norbert Zisser (Universität Bonn) , Georg Nover

## **Anisotropy of permeability and complex resistivity of sandstones from a tight gas reservoir subjected to hydrostatic pressure**

Email: [zisser@geo.uni-bonn.de](mailto:zisser@geo.uni-bonn.de)

Tight gas reservoirs come more and more to the focus of exploration. These reservoirs are characterized by significant secondary porosity combined with low matrix-permeability. Associated fractures can raise the permeability sufficiently. Distribution and orientation of the fractures yield to be important for the anisotropy of the permeability and complex electrical resistivity. Both quantities were measured at hydrostatic pressure up to 100 MPa. The Cole-Cole response-function perfectly fitted to the complex resistivity data (1 kHz - 1 MHz). The Cole-Cole-parameters DC-resistivity and relaxation-time follow in their pressure dependence a power-function, whereas the frequency-exponent did not show a continuous behaviour depending on pressure. The permeability decrease as a function of effective pressure (measured with a modified pressure-transient method) could also be described by a power-function. Therefore complex resistivity data can be used as an indirect measure of permeability. The pressure dependencies of permeability and complex resistivity were found to be different for different samples. A general rule for an estimation of pressure-induced changes in anisotropy of permeability could not be derived from anisotropy of complex resistivity data, as the factors of changes in anisotropy of these two quantities seem to be very different.

---

## **2.8 EM - Elektromagnetik**

Jörn Lange (Institut für Geophysik und Meteorologie, Uni Köln) , Tilman Hanstein , Stefan Helwig

## Automatisierte Inversion von Metalldetektordaten

Email: lange@geo.uni-koeln.de

Metalldetektoren sind beim humanitären Minenräumen die meist genutzte Technologie. Der geringe Metallanteil des Zündmechanismus löst einen Alarm aus und ermöglicht so das Auffinden der wenige Zentimeter unter der Erdoberfläche verborgenen Landminen. Das vom Metalldetektor ausgegebene akustische Signal liefert jedoch keine Information über Tiefe, Form oder Materialeigenschaften des Störkörpers. Eine Unterscheidung der Landminen von anderen im Boden vorliegenden metallischen Teilen, wie Patronenhülsen oder Schrott ist daher nicht möglich und eine hohe Fehlalarmrate so die Folge. Zur Reduzierung dieser wird daher versucht das gemessene Signal durch einen Inversionsalgorithmus zu interpretieren. Gezeigt wird dies am Beispiel eines Detektors der im Frequenzbereich arbeitet. Die Datenauswertung und Inversion geschieht dabei automatisiert um das Verfahren ohne Eingreifen des Benutzers möglich zu machen. Ein geortetes Objekt wird zunächst ortsreferenziert vermessen. Dazu wird der ein Messgitter von mindestens 40 cm x 40 cm verwendet. In einem nächsten Schritt werden die Daten normiert und der Einfluss des Bodens kompensiert. Um die Datenmenge und somit die Rechenzeit möglichst gering zu halten werden die Daten zudem reduziert. Die Auswahlkriterien sind dabei die Signalstärke und der Abstand zum Objekt. Eine erste Analyse der Daten ermöglicht eine Lokalisierung und Abschätzung der Form und Orientierung des Objektes. Mit diesen Vorinformationen werden die Daten nun invertiert. Das zugrunde liegende Modell ist ein Rotationsellipsoid. Tests mit numerischen und gemessenen Daten zeigen, dass mit

dieser Modellannahme ein Grossteil der Messungen sinnvoll interpretiert werden kann und es für bestimmte Minentypen charakteristische Rotationsellipsoide gibt. Es ist daher möglich bestimmte Minen zu identifizieren. Im Fall, dass keine Mine identifiziert wurde geben die Parameter des aus der Inversion erhaltenen Rotationsellipsoiden Auskunft über Größe, Form, Material und Tiefe des Objektes.

Die automatisierte Inversion der Daten wurde erfolgreich an einer Vielzahl von Felddatensätzen getestet. Die Laufzeit des Programms beträgt weniger als 30 Sekunden, so dass eine Anwendung direkt im Feld möglich ist. Es wurden daher das Messsystem und der Auswertalgorithmus zu einen tragbaren System kombiniert. Ein erster Prototyp ist funktionsfähig und wird vorgestellt.

Vikas C. Baranwal (TU Bergakademie Freiberg) , Antje Franke , Ralph-Uwe Börner , Klaus Spitzer , P. Sharma

## **Unstructured grid based 2D inversion of plane wave EM data for models including topography**

Email: klaus.spitzer@geophysik.tu-freiberg.de

We present a 2D damped least-squares inversion code for plane wave electromagnetic (EM) methods using an adaptive unstructured grid finite element forward operator. Unstructured triangular grids permit efficient discretization of arbitrary 2D model geometries and, hence, allow for modeling arbitrary topography. The inversion model is parameterized on a coarse parameter grid which constitutes a subset of the forward modeling grid. We investigate two types of parameter grids: a regular type, however, containing trapezoidal cells and hanging nodes, and an unstructured triangular type. The transformation from parameter to forward modeling grid is obtained by adaptive mesh refinement.

Sensitivities are determined by solving a modified sensitivity equation system obtained from the derivative of the finite element equations with respect to the model parameters.

Firstly, the inversion of a COPROD2 data set in E-polarization is presented as an example to show that our inversion code produces reasonable results for real data and flat earth models. Secondly, we demonstrate that surface topography may induce significant effects on the EM response and the inversion result, and that it cannot be ignored when the scale length of topographic variations is in the order of magnitude of the skin depth. Finally, we demonstrate the inversion of a synthetic data set from a model with topography.

Lasse Rabenstein (Alfred Wegener Institut) , John Lobach , Christian Haas

## **Entwicklung eines flugzeuggestützten EM Systems zur Bestimmung von Meereisdicken: Erste Ergebnisse**

Email: lasse.rabenstein@awi.de

Großflächige Beobachtungen der Veränderung der Meereisdicke in den Polarregionen sind im Rahmen eines sich verändernden Erdklimas von grosser Bedeutung. Seit 1991 benutzt das Alfred Wegener Institut (AWI) elektromagnetische Induktionsverfahren um die Dicke von arktischem und antarktischem Meereis zu bestimmen, sowohl vom Boden als auch vom Helikopter aus. Das Flugzeugsystem ermöglicht erstmalig einen großflächigen Einsatz eines EM Systems in der Polarforschung. Der Vortrag stellt erste Tests mit dem 2006 vom AWI konstruierten flugzeuggestützten EM System vor.

Das System beruht auf frequenzbereichs Elektromagnetik und arbeitet ausschließlich mit einer Frequenz von 1990 Hz. Demzufolge besteht das System lediglich aus einem Spulenpaar, einer Transmitterspule und einer Empfängerspule im Abstand von 11 m, jeweils unter eine der beiden Tragflächen montiert. Das primäre Magnetfeld wird elektronisch kompensiert.

Im Oktober 2006 fanden Testflüge über der Nordsee statt. Das Meer diente dabei als homogener Halbraum. Die Testflüge dienten der Kalibrierung, der Bestimmung des Signal-Rausch Verhältnisses, der Drift des EM Signals und des vertikalen Auflösungsvermögens sowie der Untersuchung des Einflusses des Flugzeuges auf die Messergebnisse.

Die Nordsee als leitfähiger Halbraum war ab einer Höhe von 40 m auf dem Signal der Empfängerspule zu erkennen. Je tiefer geflogen wird desto besser ist das vertikale Auflösungsvermö-

gen. Bei einer Flughöhe von 30 Metern beträgt es etwa 1 Meter. Für Eisdickenmessungen sollte eine vertikale Auflösung von 0,1 Metern erreicht werden. Eine Verbesserung ist durch eine Reduzierung des Rauschpegels möglich. Dieser ist während des Fluges etwa 10 mal so hoch wie am Boden. Die Bewegung des Flugzeuges ist vor allem bei plötzlichen Steig- und Sinkbewegungen als EM Signal zu erkennen, was auf eine Relativbewegung der Tragflächen zueinander zurückgeführt werden kann. Eine nichtlineare Signaldrift ist vorhanden. Diese geht vor allem mit einer Erwärmung der Spulen einher, was sich nach einer Aufheizphase von etwa 30 Minuten auf ein Minimum reduziert.

Ulrich Schmucker

## **Zur Interpretation von EM Induktionsdaten durch 2D Modelle in E- und B-Polarisation**

Email: uschmuc@geo.physik.uni-goettingen.de

Es sollen MT Impedanzen und GDS Übertragungsfunktionen längs eines Profils 2-dimensional interpretiert werden. Man wird zunächst bemüht sein, ein Modell zu finden, welches diese Daten innerhalb ihrer Fehlergrenzen reproduziert, ohne unnötig kompliziert zu sein. Ein solches Modell ist aber stets als ein räumlich geglättetes Abbild der Wirklichkeit zu betrachten und zugleich fehlerbehaftet. Dieser Beitrag behandelt das erreichbare Modell-Auflösungsvermögen eines vorgegebenen EM Datensatzes in Abhängigkeit von der erzielten Modell-Genauigkeit.

Als Maß für die Auflösung wird ein 2D Mittelungsquerschnitt eingeführt, nach dem Vorbild der Mittlungsbreite ('spread') in der Backus-Gilbert Theorie, und als Maß für die Genauigkeit die aus den Datenfehlern abgeleiteten Fehler der Modellparameter. Abweichend von der sonst üblichen Vorgehensweise, ein Ausgangsmodell mittels einer Jacobi-Matrix partieller Ableitungen schrittweise zu verbessern, wird von einem linearisierten Datenkern für das Gesamtmodell ausgegangen, der schrittweise an das Modell der vorangehenden Iteration angepasst wird.

Geeignete Datenkerne lassen sich aus den Integralgleichungen für die anomalen Variationsfelder gewinnen, für anomale Leitfähigkeiten in E-Polarisation und für anomale spez. Widerstände in B-Polarisation als zu bestimmende Modellparameter. Im Verlauf der iterativen Modellierung können unrealistische negative Leitfähigkeiten oder spez. Widerstände auftreten. In einem solchen Falle wird ein zweiter iterati-

ver Prozess eingeschoben, welcher die Lösung in der Weise modifiziert, dass die Kuhn-Tucker Bedingungen für nicht-negative Leitfähigkeiten und spez. Widerstände erfüllt sind. Gegebenenfalls verbleiben dabei 'Löcher' in dem Endmodell mit nicht bestimmbar sehr niedrigen Leitfähigkeiten oder spez. Widerständen. Ihre Schließung könnte mittels einer stärkeren Regularisierung der Datenkern-Pseudoinversen erreicht werden, doch würden dann die Messdaten nicht mehr innerhalb ihrer Fehlergrenzen interpretiert.

Es zeigt sich, dass die Daten in beiden Polarisationen ein vergleichbares Auflösungsvermögen besitzen, allerdings mit einer Einschränkung für Daten der B-Polarisation. Bei genügend langen Perioden erscheint in ihnen ein nahezu frequenz-unabhängiger, quasi-statischer Anteil. Er bewirkt eine Vieldeutigkeit der EM Daten, wie sie aus der Interpretation von Schwere-Anomalien oder von statischen Anomalien des erdmagnetischen Feldes bekannt ist.

Antje Franke (TU Bergakademie Freiberg) , Ralph-Uwe Börner , Klaus Spitzer

## **Dreidimensionale Finite-Elemente-Simulation magnetotellurischer Messungen unter Berücksichtigung von magnetischer Permeabilität und elektrischer Permittivität**

Email: [franke@geophysik.tu-freiberg.de](mailto:franke@geophysik.tu-freiberg.de)

Die Simulation klassischer Anwendungen der Magnetotellurik basiert auf den Maxwell'schen Gleichungen in quasistationärer Näherung. Die angemessene Auswertung einer zunehmenden Anzahl von audio- und radiomagnetotellurischen Messungen im Bereich höherer Frequenzen ( $f > 10^5$  Hz) erfordert aber die Beachtung von Verschiebungsströmen. Neben den elektrischen Parametern können auch magnetische Gesteinseigenschaften die Ausbreitung elektromagnetischer Felder beeinflussen. Insbesondere bei der Charakterisierung von Gesteinschmelzen scheint die relative magnetische Permeabilität eine entscheidende Rolle zu spielen. Der vorgestellte dreidimensionale Finite-Elemente-Ansatz bietet deshalb die Möglichkeit, elektromagnetische Felder zu simulieren in Abhängigkeit der Modellparameter elektrische Leitfähigkeit, relative magnetische Permeabilität und elektrische Permittivität.

Wird die Induktionsgleichung mit Hilfe eines Vektorpotentials formuliert, reduziert sich die Anzahl der Unbekannten pro Gitterpunkt auf drei. Betrachtet man außerdem einerseits

die analytische Lösung für das Primärpotential eines geschichteten Halbraums und simuliert man andererseits das Sekundärpotential, welches hervorgerufen wird durch Parameterkontraste bezüglich der Normalstruktur im Inneren des Gebietes, erlaubt das starke räumliche Abklingen des sekundären Potentials die Verwendung homogener Dirichletscher Randbedingungen auch für kleine Gebietsgrößen.

Das beschriebene Randwertproblem wird mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode unter Einsatz von quadratischen Vektorelementen gelöst. Unstrukturierte Tetraedergitter bilden dabei die Grundlage für die adäquate Parametrisierung beliebiger Modellgeometrien einschließlich Oberflächentopographie und Bathymetrie. Mittels adaptiver Gitterverfeinerung kann eine sinnvolle räumliche Verteilung der Freiheitsgrade sichergestellt und damit die optimale Nutzung von Speicherkapazitäten insbesondere bei der Lösung der resultierenden großen Gleichungssysteme gewährleistet werden.

Ralph-Uwe Börner (TU Bergakademie Freiberg) , Oliver G. Ernst , Klaus Spitzer

## Schnelle 3D-TEM-Simulation durch Modellreduktion im Frequenzbereich

Email: rub@geophysik.tu-freiberg.de

In dieser Arbeit wird eine schnelle numerische Methode zur effizienten Simulation dreidimensionaler transientelektromagnetischer (TEM) Felder einer Dipolquelle über dreidimensionalen Leitfähigkeitsstrukturen unter Berücksichtigung von beliebiger Topographie vorgestellt.

Die Methode der Modellreduktion im Frequenzbereich (*model reduction in the frequency domain*, MRF) beruht auf der Fouriertransformation einer adäquaten Anzahl von diskreten Frequenzbereichsantworten in den Zeitbereich. Der zur Bereitstellung der Lösungen im Frequenzbereich erforderliche numerische Aufwand wäre unverträglich groß, würde man die Helmholtzgleichung sequentiell für alle benötigten Frequenzen lösen.

Stattdessen kann durch Verwendung von Krylov-Unterraum-Approximationstechniken der numerische Aufwand zur Berechnung vieler Frequenzbereichslösungen drastisch reduziert werden.

Bei Beschränkung auf nur wenige Auswertepunkte im diskretisierten Gebiet kann die bei einer Finite-Elemente-Diskretisierung auftretende Systemmatrix als Übertragungsfunktion formuliert werden. In unserem Fall ist das eine vektorwertige, von einem skalaren Frequenzoffset abhängige Funktion der Inversen der frequenzabhängigen Systemmatrix. Durch die Projektion dieser Systemmatrix auf einen Krylov-Unterraum kann ein niedrigdimensionales System bereitgestellt werden, woraus die benötigten Lösungen für viele Frequenzen ohne nennenswerten Mehraufwand berechnet werden

können.

Zur Validierung des Algorithmus wird zunächst ein 2D-Problem untersucht und mit analytischen Lösungen verglichen. Im Vordergrund steht dabei die Untersuchung der numerischen Effekte eventuell auftretender Diskretisierungsfehler sowie des Einflusses der Randwerte.

Abschließend wird ein Vergleich mit einer dreidimensionalen numerischen Lösung auf der Grundlage der Spectral Lanczos Decomposition Method vorgestellt. Wir beobachten eine gute Übereinstimmung beider Varianten bei geringerem Speicherbedarf sowie etwas höherer Genauigkeit für die MRF-Methode.

Das Verfahren der Modellreduktion im Frequenzbereich zeigt bereits im gegenwärtigen numerischen Experimentalstadium hohe Geschwindigkeiten bei guter Genauigkeit.



Mike Mueller-Petke (Technische Universitaet Berlin) , Ugur Yaramanci

## **A noise dependend analysis of the inverse problem to derive optimized datasets and field configurations applied to Magnetic Resonance Sounding/Tomography.**

Email: [mike@geophysik.tu-berlin.de](mailto:mike@geophysik.tu-berlin.de)

The quest for optimisation either to improve resolution or field work (or both) is of growing interest for geophysical applications [Dal04, Wil06]. This becomes obvious especially when taking 2D and 3D prospectings into account. The influence of data error (e.g. noise) is besides the degree of ill posedness of the inverse problem the most important quantity to be considered. Applied to the Magnetic Resonance Sounding/Tomography Technique [Her05] a strategy is presented to obtain optimised datasets from the data resolution matrix (importance matrix). The influence of data error at these datasets are shown and vice versa the enhancement of inversion result for different datasets.

To solve this task consequently regularisation has to be handled in exactly the same manner as solving the inverse problem. Using a singular value decomposition and the Picard plot [Fed05] the cell size for a regular spaced inversion grid can be estimated to avoid either unused resolution (too large cells) or smoothing effects (too small cells). This method conserves the native mapping properties in contrast to a priori constrains that fit different but well defined geologies. Taking into account that the data space is independent of the model space (as long as the minimum cell size is smaller then the corresponding resolution) this step is unnecessary for data optimisation but improves the inversion result.

The main step is to calculate and analyse the data resolution matrix based on the described grid and level of data error, i.e. regularisation. He-

re a truncated singular value approach is chosen while the truncation parameter can be obtained using well known methods like L-curve, discrepancy principle or a visual check of the Picard condition in the Picard plot. While the data resolution matrix contains directly information on redundant data the optimised datasets can be easily derived [Men84]. It shows that for a certain noise level a certain amount of data can be assigned. Changing the assumed level of data error the amount of independent data changes. Nevertheless, taking more data then independent the resolution can still be improved until one can expect gaussian distributed error.

For 2D or even 3D prospectings the field practicability limits the dataset in the first step. Anyhow taking field restriction into account an effective configuration can be found. It is shown that an station increment of half the loop diameter including coincident soundings and soundings with half overlapping and edge to edge loop separation performs best for 2D MRT measurements.

### Literature

- Fedi, M., Hansen, P.C., Poaletti, V. 2005. Analysis of depth resolution in potential-field inversion. *Geophysics*, 70, A1-A11.
- Hertrich, M., Braun, M., Yaramanci, U. 2005. Magnetic resonance soundings with separated transmitter and receiver loops. *Near Surface Geophysics*, 3, 131-144.
- Menke, W. 1984. *Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory*. Academic Press, London.
- Dahlin, T., Zhou, B. 2004. A numerical comparison

of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays.

Geophysical Prospecting, 52, 379-398.

Wilkinson, P.B., Meldrum P.I., Chambers, J.E., Kuras, O., Ogilvy R.D. 2006. Improved strategies for the automatic selection of optimized sets of electrical resistivity tomography measurement configurations. Geophysical Journal International, 167, 1119-1126.

Roland Martin (Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie) , Bülent Tezkan , Stefan Helwig

### **3D TEM Inversion**

Email: roland.martin@uni-koeln.de

Although the direct and inverse problem for many applied geophysical methods are solved in 3D now, the interpretation of transient-electromagnetic (TEM) data sets are commonly done with 1D models. Among other things, this is mainly due to relatively high computation cost which arises from the simulation of 3D diffusive EM processes. To enhance the interpretation capabilities of TEM monitoring of 3D structures, we currently develop a scalable 3D inverse solution for Linux-Clusters with reduced computational effort. The main conservation of computational load is achieved by solving the most relevant forward problems using an efficient krylov subspace technique by means of the spectral lanczos decomposition method. The exploitation of the reformulated adjoint problem in time domain gives us an efficient opportunity to calculate the sensitivity matrix. This can be further utilized to study the resolution properties of the inverse process and it's solution. To show the feasibility of the code, we present 3D inversion results for synthetical short and long offset TEM data.

<http://www.geophysik.uni-koeln.de/forschung/indien/index.html>

Thilo Schmalz (Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln), Bülent Tezkan

## **Vier-Kanal-Radiomagnetotellurik (RMT)-Messungen in Dänemark**

Email: [schmalz@geo.uni-koeln.de](mailto:schmalz@geo.uni-koeln.de)

Im Rahmen eines EU-Projektes wurde ein neues Vier-Kanal-Radiomagnetotellurik (RMT)-Gerät entwickelt, das Zeitreihen für elektrische und magnetische Felder aufzeichnet. Der Frequenzbereich erstreckt sich von 10 kHz bis 1 MHz. Eine Prozessierungssoftware (SM 25) zur Bestimmung der Übertragungsfunktion mittels Spektralanalyse, sowie ein zur Inversion der prozessierten Daten verwendetes Programm (Workbench) wurden im Rahmen dieses Projektes mitentwickelt.

Das Kernstück des neuen Inversionsprogrammes ist die Verwendung des Laterally Constraint Inversionsalgorithmus. Dabei wird der Untergrund in separate 1D-Modelle unterteilt, wobei zwischen den Modellen laterale Randbedingungen (Constraints) auf die Modellparameter wirken. Mehrere 1D-Modelle werden somit als ein System invertiert. Man erhält geglättete Sektionen, die die wesentlichen Eigenschaften des Untergrundes widerspiegeln. Die invertierten Sektionen können aufgrund der Zusammenbindung als Pseudo-2D-Sektionen angesehen werden. Im Vergleich zu 2D-Inversionen ist die Rechenzeit für die Laterally Constraint Inversion beträchtlich kürzer.

Das neuentwickelte Vier-Kanal-RMT-Gerät wurde danach im Feldeinsatz getestet. Ziel ist dabei die Anwendung der Methode bei der Grundwasserexploration. Die Messung fand auf einem Testgebiet in der Nähe der dänischen Stadt Aarhus statt. Es wurden insgesamt 87 Messstationen auf sieben Profilen gemessen.

Die in Dänemark gemessenen Daten wurden mit der neuen Software SM 25 prozessiert und werden derzeit mit dem Laterally Constraint

Inversionsalgorithmus invertiert. Die Ergebnisse der Inversion sollen mit anderen, auf dem Messgebiet verwendeten Methoden (PACES, GroundTEM, SkyTEM) verglichen und interpretiert werden.

Christoph Schwarzbach (TU Bergakademie Freiberg)

## **Numerische Aspekte der FEM-Lösung der elektromagnetischen Wellengleichung mit absorbierenden Randschichten (Perfectly Matched Layers)**

Email: schwarzb@geophysik.tu-freiberg.de

Randwertaufgaben, die für die Simulation geophysikalischer Messverfahren gelöst werden müssen, sind typischerweise auf unbeschränkten Gebieten gestellt. Im Falle von Wellenphänomenen fordert man mit der Sommerfeldschen Ausstrahlungsbedingung das Abklingen der Felder im Unendlichen. Die numerische Behandlung des Problems erfordert jedoch die Eingrenzung auf ein beschränktes Gebiet, das Simulationsvolumen. Auf seinem Rand sind nun geeignete Randbedingungen derart zu formulieren, dass Wellen das Simulationsvolumen ohne Reflexion an seinem Rand verlassen können. Die Umsetzung der entsprechenden exakten mathematischen Formulierung erfordert z. B. die Kopplung der Methode der Finiten Elemente oder Finiten Differenzen mit der Randintegralmethode. Eine Approximation des Feldverhaltens mit Impedanzrandbedingungen ist entweder zu ungenau oder zu komplex.

Umgibt man das Simulationsvolumen durch eine Schicht mit speziellen, absorbierenden Eigenschaften, so kann bereits mit einfachsten Randbedingungen das erwünschte Feldverhalten im Simulationsvolumen approximiert werden. Die zugrundeliegende partielle Differentialgleichung wird auf die Randschicht ausgelehnt, wobei hier anisotrope Materialparameter derart gewählt werden können, dass keine Reflexion am Übergang vom eigentlichen Simulationsvolumen zur Randschicht auftreten. Deshalb wird dieser Materialtyp als PML (*Perfectly Matched Layer*) bezeichnet.

Die Konstruktion der anisotropen Materialeigenschaften erfolgt am einfachsten mit Hil-

fe einer zur anisotropen Form äquivalenten Formulierung der Randwertaufgabe, deren Definitionsbereich im PML durch eine Koordinatentransformation auf die komplexen Zahlen erweitert wird. Die Koordinatentransformation entspricht dann einer komplexen Streckung der Raumkoordinaten in Abhängigkeit vom Abstand zum Simulationsvolumen. Im Mittelpunkt meiner Untersuchungen stehen die Eigenschaften unterschiedlicher Streckungsfunktionen im Frequenzbereich.

Weiterhin zeige ich einen Vorteil der Methode der Finiten Elemente (FE) gegenüber der Methode der Finiten Differenzen (FD): Bei der FD müssen die innerhalb des PML kontinuierlich veränderlichen Materialparameter, d. h. die zum Rand wachsende Dämpfung, durch stückweise konstante Funktionen approximiert werden. Dies erzeugt unerwünschte Reflexionen an den „Treppenstufen“. Bei der FE hingegen können durch eine geeignete numerische Integration auch räumlich variable Materialparameter korrekt behandelt werden. Die einzigen Quellen für Reflexionen aus dem PML bleiben Diskretisierungsfehler der gesuchten Lösung und Restreflexionen vom Außenrand des PML.

Sascha Frömmel (Institut für Geophysik und Meteorologie Universität zu Köln)

## **Lateral Constraint Inversion (LCI) und Inversion mit Entwicklung nach Basisfunktionen anhand von Transientenelektromagnetischen (TEM) Daten**

Email: [froemmel@geo.uni-koeln.de](mailto:froemmel@geo.uni-koeln.de)

Bei der Auswertung von TEM Daten in einem Messprofil kann man entweder eine 1D Inversion an jeder Messstation vornehmen und anschließend die Ergebnisse nebeneinander legen und vergleichen, oder direkt eine 2D Inversion entlang des Messprofils durchführen, was einen hohen Rechenaufwand erfordert. Eine Inversion mit Entwicklung nach Basisfunktionen und die LCI bieten eine Möglichkeit die nebeneinander liegenden Messungen geologisch sinnvoll miteinander zu verknüpfen und so alle Parameter eines Messprofils gleichzeitig zu invertieren. Bei der Verknüpfung kann außerdem die Parameteranzahl verringert werden, was zu weiteren Einsparungen in der Rechenzeit führt und die Stabilität der Inversion erhöht. Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine LCI und eine Inversion mit Entwicklung nach Basisfunktionen erstellt, wobei als Basisfunktionen Tschebyscheff Polynome gewählt wurden. Während die LCI in der Lage ist Leitfähigkeiten in einer Schicht miteinander zu verknüpfen und a priori Informationen festzulegen, werden bei der Inversion mittels Reihenentwicklung die geologischen Grenzschichten mit Tschebyscheff Polynomen dargestellt. Anstelle der Schichtmächtigkeiten werden nun die Polynomkoeffizienten invertiert. Es wurden ein- und zweidimensionale synthetische geologische Modelle erstellt und invertiert um die Ergebnisse dann mit den gängigen Inversionsmethoden zu vergleichen.

Bernhard Siemon (BGR Hannover) , Esben Auken , Anders Vest Christiansen

## 1D-Inversion von HEM-Daten mit seitlichen Randbedingungen

Email: [bernhard.siemon@bgr.de](mailto:bernhard.siemon@bgr.de)

Hubschrauberelektromagnetische (HEM) Messungen gewinnen zunehmend an Bedeutung für die Erkundung von Grundwasser, mineralischen und nicht-mineralischen Rohstoffen, bei geotechnischen Untersuchungen, u.v.a.m. Sie profitieren von der Möglichkeit, schnell große Areale zu erkunden und somit einen Überblick über die räumliche Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit im Erduntergrund bis etwa 100 m Tiefe geben zu können. Die Messwerte zu 5-6 Messfrequenzen, die im Abstand von etwa 4 m längs der Messprofile erhoben werden, werden standardmäßig mit Inversionsalgorithmen auf Basis von geschichteten Halbräumen in Widerstands-Tiefen-Verteilungen invertiert. Aufgrund des relativ kleinen räumlichen Einflussbereichs (etwa 100 m) der Leitfähigkeitsstrukturen im Erduntergrund auf die HEM-Messungen genügen 1D-Inversionsverfahren in den meisten Fällen, um die HEM-Messwerte zufriedenstellend zu erklären. 3D-Effekte, insbesondere auch durch Installationen an der Erdoberfläche verursacht, sind in den Widerstands-Tiefen-Verteilungen leicht zu erkennen und können ggf. gesondert behandelt werden. Eine effiziente 3D-Inversion von HEM-Daten ist derzeit jedoch noch nicht durchführbar.

Aufgrund der schnellen Fortbewegung des Messsystems mit etwa 150 km/h ist das Stapeln von Messungen nicht möglich und somit sind HEM-Messungen Einzelmessungen. Rauschen der Messwerte und kurzweilige Messwertschwankungen bedingt durch die Bewegung des Messsystems wirken sich demnach längs des Flugweges aus. Diese verrauschten Daten wer-

den in der Regel mit geeigneten Tiefpass-Filtern leicht geglättet, wobei aber auch Information aus dem Erduntergrund verloren gehen kann. Bei Verzicht auf die Glättung kann das Erscheinungsbild der zu einer Vertikalsektion zusammengesetzten 1D-Inversionsmodelle unruhig sein, was bei einer qualitativen Interpretation durch erfahrene Auswerter nicht weiter hinderlich ist. Für eine quantitative Nutzung der HEM-Ergebnisse, z.B. bei geologischen oder hydraulischen Modellierungen, kann es erforderlich sein, dass die laterale Verteilung der Widerstands- und Tiefenwerte homogenisiert werden muss. Als Alternative zu der Glättung der Messwerte bietet sich die 1D-Inversion mit seitlichen Randbedingungen an. Hierbei dürfen die Schichtparameter nur innerhalb eines vorgegebenen Bereichs variieren. Studien mit synthetischen Daten und Felddaten zeigen, dass sich dieses Verfahren insbesondere eignet für die Modellierung geschichteter Untergrundstrukturen, die durchaus von einer Schicht mit variablen spezifischen Widerständen oder Mächtigkeiten bedeckt sein dürfen. Bei stark vertikal strukturierten Leitfähigkeitsverteilungen ist die Glättung der Messwerte mit nachfolgender 1D-Inversion ohne seitliche Randbedingungen zu bevorzugen.

Bernhard Siemon (BGR Hannover)

## Niveauanpassung von HEM-Daten

Email: [bernhard.siemon@bgr.de](mailto:bernhard.siemon@bgr.de)

Bei aerogeophysikalischen Messungen, die im Allgemeinen auf parallelen Messprofilen durchgeführt werden, ist der Informationsgehalt längs der Profile erheblich höher als senkrecht dazu. Die Zellengröße für die Kartenproduktion von Flächendaten wird in der Regel deutlich kleiner als der Fluglinienabstand gewählt, um eine möglichst hohe laterale Auflösung zu erhalten. Niveauunterschiede in den jeweiligen Messgrößen benachbarter Linien können somit in den Karten als störende Streifenmuster erscheinen. Bei elektromagnetischen Messungen mit in der Luft bewegten Sendern und Empfängern sind die Messsignale (Sekundärfelder), mit denen die elektrische Leitfähigkeit des Erduntergrundes erfasst wird, sehr viel kleiner als die Sendesignale (Primärfelder) und zudem komplexer Natur. Beide Signale überlagern sich in der Frequenzelektromagnetik, bei der die Ausstrahlung der Sendesignale zu diskreten Messfrequenzen erfolgt. Die Primärfelder werden zwar in der Regel bei der Messung kompensiert, doch gelingt dies nicht vollständig. Eine genaue Erfassung des Bezugsniveaus (Nullniveau), das dem nicht kompensierten Primärfeld entspricht, ist daher auch während eines Messfluges notwendig und wird mehrmals pro Flug in großer Höhe, in der das Sekundärfeld abgeklungen ist, durchgeführt. Diese Bestimmung der Nullniveaus ist jedoch nicht immer ausreichend. Die Ursachen für die Unterschiede von Flug zu Flug oder von Profil zu Profil sind vielfältig: unterschiedliche Messflughöhen, Fluggeschwindigkeiten, Flugrichtungen, klimatische Bedingungen, etc. Daher werden zusätzlich zu den Messprofilen auch

Querprofile (Kontrollprofile) befliegen, deren Abstand meist deutlich größer ist. Diese Querprofile können genutzt werden, um Niveauunterschiede zu erfassen und ggf. zu korrigieren (Kreuzungspunktstatistik). Sollten danach immer noch Linieneffekte in den Karten zu erkennen sein, können die flächenhaften Datensätze mit zweidimensionalen Filtern behandelt werden (Microlevelling). Anhand eines Datensatzes aus dem Messgebiet Saalfeld in Thüringen wird gezeigt, dass eine saubere Nullniveaufassung über Stützstellensetzung für die Bestimmung der Sekundärfelder unablässig ist. Deutliche Abweichungen einzelner Linien oder Blöcke von Linien aufgrund von langwelligen Nullniveaufehlern lassen sich mit der Kreuzungspunktstatistik mildern. Kleinere, kurzwellige Niveaufehler sind nur unter Verwendung des Microlevellings zu beheben. Die Korrektur der Sekundärfelder ist beim untersuchten Datensatz am besten gelungen über die Nivellierung beider Halbraumparameter und einer anschließenden Neuberechnung der Sekundärfelder für jede Messfrequenz. Dieser Weg ist auch bei der Auswertung der HEM-Daten von anderen Messgebieten erfolgreich eingesetzt worden.



Lars Houpt (FU Berlin, Fachrichtung Geophysik), Anja Schäfer, Anja Kreuzmann, Heinrich Brasse

## **Elektrische Leitfähigkeitsanomalien an der Trans-Europäischen Suturzone und im Norddeutschen Becken**

Email: [anja@geophysik.fu-berlin.de](mailto:anja@geophysik.fu-berlin.de)

An der Nahtstelle zwischen Osteuropäischer Plattform, Fennoskandischem Schild und dem Paläozoikum Mitteleuropas wurden in den letzten Jahren umfangreiche elektromagnetische Untersuchungen von der FU Berlin gemeinsam mit Partnerinstitutionen in Polen, Russland, Tschechien, Finnland und Schweden durchgeführt (Projekt EMTESZ - Electromagnetic Study of the Trans-European Suture Zone). Mehrere Profile überqueren die Teisseyre-Tornquist-Zone (TTZ), die Sorgenfrei-Tornquist-Zone (STZ) und die Kaledonische Deformationsfront (CDF); die langperiodischen Magnetotellurik (LMT-) Messungen umfassen dabei einen Periodenbereich von 10-10000 s. Zusätzlich zu zwei früheren NE-SW verlaufenden Profilen über die TTZ in Nordpolen wurden im letzten Jahr weitere Messungen durchgeführt: 1) Ein Profil entlang des 14. Längengrads vom Spreewald bis Usedom und 2) ein Profil von Südschweden über Rügen bis zur Müritz. Diese Landmessungen wurden ergänzt durch Meeresbodenstationen in der Ostsee (Polnische Akademie der Wissenschaften, Warschau, und IFM-Geomar, Kiel). Sowohl in Polen als auch auf dem N-S-Profil in Norddeutschland zeigen sich starke künstliche Störungen, die vermutlich auf Gleichstrombahnen (polnische Bahn und Halo des Berliner S-Bahnringes) zurückzuführen sind. Dagegen sind die Messungen des NE-SW-Profiles sowohl in Schweden als auch in Norddeutschland nahezu störungsfrei. Die größten Anomalien, insbesondere im erdmagnetischen Vertikalfeld, zeigen sich in Südschweden an der STZ, in Polen an der TTZ und auf Rügen;

hier erreichen die erdmagnetischen Induktionspfeile (Realteile) mit ca. 0.8 ihre Maximallänge bei etwa 1800 s. Diese großen Amplituden werden vor allem durch den abrupten Übergang zu großen Sedimentmächtigkeiten im norddeutsch-polnischen Becken hervorgerufen. Ein Charakteristikum aller Stationen auf der paläozoischen Plattform ist ein extrem guter elektrischer Leiter in geringen Tiefen (etwa einige hundert m bis 2 km), der mit einem salzhaltigen Aquifer in Verbindung gebracht wird, der das gesamte mitteleuropäische Beckensystem durchzieht. Diese hochleitfähige Schicht macht auch lange Perioden erforderlich, um tiefer gelegene Strukturen aufzulösen. Die Daten aus Polen zeigen eine klare Dreiteilung: Osteuropäischer Kraton, polnischer Trog und paläozoische Plattform. Die invertierte Beckenstruktur im polnischen Trog führt dabei zu 3D-Effekten, die eine 2D-Modellierung entlang des gesamten Verlaufs der Profile nur als erste Näherung ermöglichen. Immerhin zeigt sie die hohen Widerstände des Kratons, niedrigere Widerstände der paläozoischen Plattform und deutlich die Inversion im polnischen Becken. Der Bereich der TTZ ist außerdem gekennzeichnet durch Strukturen mit deutlich erhöhter Leitfähigkeit in der mittleren Kruste. Demgegenüber ist das Bild der Übertragungsfunktionen entlang der beiden neuen, westlichen Profile wesentlich homogener und die Induktionspfeile weisen jeweils in Profilrichtung. Im Bereich der varistischen Deformationsfront verschwinden die Vertikalfeldvariationen nahezu vollständig (Norddeutsche Leitfähigkeitsanomalie?). Unser Beitrag zeigt

erste Modellrechnungen zu diesen neuen Daten und geht insbesondere der Frage nach, ob zur Erklärung der Übertragungsfunktionen die Variation der Sedimentdicke ausreichend ist oder zusätzliche Annahmen, etwa zu Schwarzschiefern, gemacht werden müssen.

Martin Afanasjew (TU Bergakademie Freiberg) , Stefan Güttel , Oliver G. Ernst , Ralph-Uwe Börner , Klaus Spitzer , Michael Eiermann

## **Comparison of Krylov Subspace Methods and Time-Stepping for TEM Simulation**

Email: [rub@geophysik.tu-freiberg.de](mailto:rub@geophysik.tu-freiberg.de)

The modeling of the forward problem in transient electromagnetic exploration requires the numerical solution of a linear constant-coefficient initial-value problem for the Maxwell equations in the diffusive limit.

After discretization in space, this problem reduces to a large system of ordinary differential equations, which is typically solved using finite-difference time-stepping schemes.

In this presentation we compare standard time-stepping schemes such as the explicit and unconditionally stable Du Fort-Frankel scheme with the more recent Runge-Kutta Chebyshev methods, which are designed specifically for parabolic initial value problems, with Krylov subspace techniques for the explicit solution of the initial value problem using the matrix exponential.

Besides the classic Arnoldi/Lanczos approximation we also consider restarted Arnoldi approximations as were recently proposed in [1]. These restarted schemes have the advantage of requiring only an a priori fixed amount of memory storage, a significant aspect in the context of 3D simulations.

### References:

[1] M. Eiermann and O. G. Ernst. A Restarted Krylov Subspace Method for the Evaluation of Matrix Functions, *SIAM J. Numer. Anal.* 44 (6) 2006, pp. 2481-2504.

Andre Jung (Uni Potsdam u. GFZ Potsdam) , Ute Weckmann , Oliver Ritter , Maarten de Wit

## **Along strike variations of the Beattie Magnetic Anomaly (South Africa) mapped with magnetotellurics**

Email: [ajung@gfz-potsdam.de](mailto:ajung@gfz-potsdam.de)

The Beattie Magnetic Anomaly (BMA) and the Southern Cape Conductive Belt (SCCB) are two of the largest continental geophysical anomalies in the world. Both anomalies are situated in Namaqua-Natal Mobile Belt in South Africa and have an east-west extension of more than 1000km. They are entirely covered by the sediments of the Karoo Basin. Within the framework of the German-South African collaboration “Inkaba yeAfrica“, several geophysical and geological approaches are used to reveal the origin of these anomalies and their relevance in the tectonic evolution of the African continent. In this presentation we will show and discuss magnetotelluric results of a 70km long profile crossing the BMA in the eastern part of the Karoo basin at Jansenville. 2D inversion models of the electrical conductivity distribution of the subsurface show two prominent zones of high conductivity: (i) a sub-horizontal layer within the Kango Basin and (ii) a northward dipping slab from ~10-20km depth coinciding with the maximum of the BMA. This is in contrast to our observations from the Agulhas-Karoo transect in the western part of the Karoo where a conductive slab spatially coinciding with the trace of the BMA is dipping south terminated in ~12km depth. We will compare our results with seismic wide angle reflection/reflection data and aeromagnetic data along both profiles in view of along strike variations of the BMA.

---

## **2.9 EP - Extraterrestrische Geophysik**

A. Müller (Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität Köln) , Joachim Saur , B. H. Mauk , D. G. Mitchell , S. M. Krimigis

## **Das azimuthale Geschwindigkeitsprofil der inneren und mittleren Saturnmagnetosphäre**

Email: [mueller@geo.uni-koeln.de](mailto:mueller@geo.uni-koeln.de)

In unserer Präsentation stellen wir eine neue Methode zur Bestimmung des azimuthalen Geschwindigkeitsprofils der inneren und mittleren Saturnmagnetosphäre vor. Dazu werden Daten des Magnetospheric Imaging Instruments (MIMI) auf der Raumsonde Cassini ausgewertet. Sogenannte ‘Injection Events‘ (hochenergetische Teilchenpopulationen) in der Saturnmagnetosphäre erzeugen Dispersionprofile, deren Gestalt explizit auch von der Geschwindigkeit der Magnetosphäre abhängt. Bei der Auswertung der von MIMI gemessenen Dispersionsprofile ist zu berücksichtigen, dass sich mehrere Bewegungen (Rotation der Magnetosphäre, Bewegung der hochenergetischen Teilchen aufgrund elektrischer und magnetischer Driften sowie die Bewegung des Raumfahrzeugs durch die Magnetosphäre) überlagern. Aus der Analyse der Dispersionskurven kann bei Kenntnis der anderen Geschwindigkeiten (Bewegung der hochenergetischen Teilchen sowie die Bewegung des Raumfahrzeugs) die azimuthale Geschwindigkeit extrahiert werden. In unserem Vortrag werden wir erste Ergebnisse unserer Analyse der Cassini MIMI-Daten vorstellen.

Manfred Thiel (Institut für Geophysik, Universität zu Köln) , Joachim Saur , Nico Schilling

## **Modellierung des Neutralgasplumes am Südpol des Saturnmondes Enceladus**

Email: [thiel@geo.uni-koeln.de](mailto:thiel@geo.uni-koeln.de)

Seit Juli 2004 erforscht die Raumsonde Cassini das Saturnsystem. Ein Schwerpunkt bilden dabei möglichst nahe Vorbeiflüge an den Saturnmonden. Drei Vorbeiflüge an Enceladus im Jahre 2005 führten zur Entdeckung eines Neutralgasplumes in Verbindung mit einer ungewöhnlich starken Temperaturanomalie und gebänderter Topographie ('tiger stripes') nahe des Südpols von Enceladus. Diese Beobachtung unterstützt die lange gehegte Vermutung, dass Enceladus der Hauptverursacher des E-Rings von Saturn ist. Enceladus bewegt sich in der Mitte des E-Rings in einem Abstand von 3.95 Saturnradien und besitzt eine komplexe Oberflächenstruktur aus Eis. Die Komponenten des Neutralgasplumes sind Wassermoleküle und Eispartikel. Dieser Vortrag soll erste Simulationsergebnisse der räumlichen und zeitlichen Entwicklung des Neutralgasplumes für Geschwindigkeitsverteilungen zeigen, die die Ausgasungseigenschaften der Enceladusoberfläche widerspiegeln. Grundlage dieser Studie ist ein numerisches Modell zur Simulation von Teilchentrajektorien im gemeinsamen Schwerfeld von Enceladus und Saturn.

---

## **2.10 GD - Geodynamik**



André Gebauer (Friedrich-Schiller-Universität Jena) , Corinna Kroner , Thomas Jahr

## **Einfluss struktureologischer und lithologischer Merkmale auf Deformationen der oberen Kruste**

Email: andre.gebauer@uni-jena.de

In der Vergangenheit wurden verschiedene Untersuchungen zur Bestimmung der Größenordnung von Einflussfaktoren der Deformationen im lokalen Umfeld von Messgeräten wie Strain-, Tilt- und Seismometer vorgenommen. Betrachtet wurden thermische, atmosphärische und topographische Effekte, aber auch der Einfluss ozeanischer Auflasten.

Zum weiterführenden, grundlegenden Studium des Einflusses der lokalen Topographie und Geologie wurden mit Hilfe der Software ABAQUS auf Grundlage der Finiten Element-Methode Modelle einer Größe von 5 km x 5 km x 1.6 km erstellt und mit unterschiedlichen Luftdruckszensarien belastet. Zur Abschätzung der Größenordnungen der Einflussfaktoren auf die horizontalen Deformationskomponenten wurden diese elastischen Modelle mit einem auf dem gesamten Modell gleichmäßig herrschenden Luftdruck, sowie wandernden Luftdruckfeldern belastet.

Die Basis der Untersuchungen bilden die Breitbandstationen Moxa, Wettzell, Schiltach und Sopron mit ihren unterschiedlichen Topographien: breites und enges Tal, Hang- und Ebenenlage. Am Hangfuß sind jeweils Messstollen in den Modellen integriert.

Zur Bestimmung der Deformation werden im ersten Schritt verschiedene Neigungen von Tal- und Hangmodellen bei gleichen Höhen untersucht, weiterführend unterschiedliche Höhen. Die Modelle sind zunächst homogen mit den Werten von PREM parametrisiert. Es zeigt sich bei homogener Belastung, dass mit steiler werdender Hangneigung der maximale Strain und

Tilt nichtlinear zunimmt. Der Strain liegt in Größenordnungen von -0.03 bis 0.90 nstrain und die Neigung von -2.00 bis 0.50 nrad bei einer Luftdruckänderung von 1 hPa. Bei gleich bleibender Hangneigung und zunehmender Höhe liegen die Deformationen in der gleichen Größenordnung, der Trend in den Komponenten ist jedoch unterschiedlich.

In einem weiteren Schritt der Untersuchungen sind die Modelle mit unterschiedlichen geologischen Einheiten versehen worden. Zunächst wurden Gesteine mit einem hohen Kontrast im E-Modul verwendet (z. B. Granit und Sandstein). Die Entfernung des Messstollens zur Grenze zwischen den Gesteinen wird im Modell variiert. Die größte Neigung von 2.5 nrad senkrecht zur Gesteinsgrenze tritt auf, wenn die Grenze sehr nah am Stollen ist.

Mit Hilfe der wandernden Luftdruckfeldern sollen die mechanischen Prozesse verstanden werden. Die Maximalamplituden in den Komponenten treten an den größten Luftdruckgradienten auf und können gegenüber der homogenen Belastung um den Faktor 3 größer sein.

Die gewonnenen Ergebnisse sollen bei der Standortwahl zukünftiger Messstationen helfen und dazu dienen beobachtete Deformationen bezüglich der grundlegenden geodynamischen Prozesse zu interpretieren.

Thomas Jahr (Institut für Geowissenschaften, Friedrich-Schiller-Universität Jena)

## **Hochauflösende Neigungsbeobachtungen am Geodynamischen Observatorium Moxa: Instrumentierung, Daten und ein überraschendes Signal**

Email: [thomas.jahr@uni-jena.de](mailto:thomas.jahr@uni-jena.de)

Seit November 2001 finden am Geodynamischen Observatorium Moxa hochauflösende Neigungsbeobachtungen mit ASKANIA-Bohrlochneigungsmessern (ABNM) statt. Hierfür stehen am Observatorium zwei 50 m tiefe und ein 100 m tiefes Bohrloch zur Verfügung. Für eine 50 m und die 100 m – Installation liegen inzwischen lange Zeitreihen vor, die Analysen von Erdeigenschwingungen, von Gezeiten der festen Erde und von lang- und aperiodischen Signalen ermöglichen.

Die Ergebnisse zeigen, dass das Observatorium Moxa, neben den bekannten geringen Rausch-Niveaus für seismische Frequenzen und für sehr langperiodische Schwerebeobachtungen, auch für Neigungsmessungen vergleichsweise sehr hohe Signal/Rausch-Verhältnisse aufweist. Dies kann durch die Abgeschlossenheit sowie durch die lokale und regionale geologische Situation der Observatoriums-Lokalität begründet sein. Die Analyse und der Vergleich der in den verschieden tiefen Löchern beobachteten Erdeigenschwingungen nach dem Sumatra-Andaman Erdbeben (26. Dezember 2004) zeigen die hohe Datenqualität der untersuchten Moden.

Für die notwendige Bestimmung der Orientierung der Neigungsmesser in den Bohrlöchern ergab sich zunächst das Problem, dass die optische Azimutbestimmung aufgrund der Bohrloch-Abweichungen vom Lot, nicht möglich war. Um dennoch das Azimut bestimmen zu können, wurden die Neigungsmesser mit Geophonen ausgerüstet und die empfangenen seismischen Signale mit bekannten Signalkomponenten, die an der Erdoberfläche mit

gleichen Geophonen registriert wurden, korreliert. Die Orientierung der ABNM in den Bohrlöchern konnten so auf ein Grad und besser bestimmt werden. Die nordsüd- und ostwest-transformierten Zeitreihen zeigen auch für den Periodenbereich der Gezeiten gute bis teilweise sehr gute Signal/Stör-Verhältnisse.

Die bei derartigen Neigungsmessungen üblichen langperiodischen Driftanteile sind über weite Bereiche von über einem Jahr kontinuierlicher Beobachtung linear. Dies spricht für stabile Installations-, Registrier- und Umgebungsbedingungen. Allerdings stellte sich von Februar bis August 2006 eine starke zusätzliche Drift von über einer Bogensekunde ein (zur Erinnerung: die maximale Gezeitenamplitude liegt in mittleren Breiten bei ca. 20 Millibogensekunden entsprechend ca. 100 nrad). Doch wie kann dieses überraschende langperiodische und extrem starke Driftsignal interpretiert werden? Eine Möglichkeit wird im Zusammenhang mit einem 15 km entfernten Stausee und einer dortigen Staupegel-Absenkung diskutiert.

Heijn W. van Gent (Geologie - Endogene Dynamik, RWTH-Aachen University) , Stefan Back , Janos Urai , Peter Kukla

## **Paleostress estimation from 3D seismic data, Groningen gas field, The Netherlands**

Email: h.vangent@ged.rwth-aachen.de

To estimate paleostress tensors from faults, information is required on both the fault orientation and the direction of slip on the fault. This data is traditionally gathered by direct fault-plane measurements in the field, which is only possible in outcrops, mines or drill holes. In this study, we used a high-quality 3D pre-stack depth-migrated (PSDM) seismic dataset from the Groningen gas field, the Netherlands, to evaluate the potential of the use of 3D seismic reflectivity data for paleostress reconstruction in the subsurface.

In the circa 750 square kilometers study area, 13 horizons and 55 normal faults were mapped between Tertiary and Top Rotliegend stratigraphic levels. Possible kinematic indicators of fault slip include fault, fault shapes, fault branches, splays, displaced objects, branch lines and the shape of horizon cutoffs. We used a 3D palinspastic reconstruction of horizons and faults for slip-vector approximation. The Numerical Dynamic Analysis was subsequently applied for an estimation of paleostress tensors for 1) the Tertiary Lower to Middle North Sea interval, 2) the Upper Cretaceous Chalk interval and 3) the Top Rotliegend horizon. The paleostress data calculated for the Tertiary and Cretaceous units show good correspondence with published paleostress estimates from southern Germany, France and Great Britain. However, whilst the orientation of the maximum horizontal compressive stress in this study and previous works are near identical, a difference is observed in the orientation of the principle stresses.

This might reflect the isolated position of the Groningen gas field on a structural high, largely unaffected by basin inversion. The orientation of the stress tensor in the Top Rotliegend horizon of the data shows excellent correspondence with published data of the Triassic stress field.

The study presented documents the potential of the approach of approximating paleostress from quantitative structural balancing of 3D seismic interpretations. However, issues that need further discussion include e.g., the validity of the basic assumptions in paleostress inversion, the scale of the present study compared to traditional paleostress studies and the problem of limited detectability of unambiguous fault-slip indicators on seismic data. Future extension of the study to other parts the Dutch subsurface will provide understanding of the evolution of the Dutch part of the Central European Basin, including salt movement and tectonic inversion.

Ingo Kock (DFG - Forschungszentrum Ozeanränder) , Katrin Huhn

## **Numerical study of localization and micromechanics in a granular material**

Email: [ikock@uni-bremen.de](mailto:ikock@uni-bremen.de)

For many geological deformation processes the existence of a mechanically weak layer is presumed. For these weak layers, clay sediments or clayey fault gouge seem to be a likely candidate. They are supposed to be a focus of displacement and thus crucial for slip plane and shear zone development. There is an ongoing debate concerning the exact nature of shear localization in these layers.

To address this question, we use numerical shear box tests utilizing the Discrete Element Method (DEM), a technique based on a granular model approach. The advantage of such numerical tests over analogue ones is the control of a finite set of boundary conditions. Our focus lies on modelling micro-scaled localization patterns and micromechanical properties. Specifically, we study the influence of (1) stratification and (2) fault surface roughness.

The influence of stratification is analyzed by shearing a numerical specimen where a numerical clay layer is sandwiched between (a) two silt layers and (b) two clay layers with varying properties. Fault surface roughness is modelled by systematically changing boundary surface roughness of the numerical shear test apparatus.

Our results indicate that overall frictional strength of a material package is a result of different deformation modes which also govern localization phenomena. An important role plays the ability of single particles to slide, roll or rotate, which to a large extent is influenced by particle friction contrast. We show that localization switches from one layer to adjacent ones

even if differences of material properties are very small. Furthermore, localization is often concentrated in only one layer leading to a complete decoupling of the other layers and thus building a shear zone where high displacement can be accumulated.

Variation in boundary roughness leads to differences in stress transmission onto the sample. Depending on the maximum particle diameter of the sample, we found an upper and lower threshold level of roughness. In between these values, deformation is distributed throughout the sample. For a roughness smaller than the lower threshold value, no internal deformation occurs. Above the upper threshold value, deformation concentrates into many slip planes along the boundaries.

Ales Spicak (Geophysical Institute, Prague) , Vaclav Hanus , Jiri Vanek , Marie Behounkova

## **Internal tectonic structure of the Central American Wadati-Benioff zone based on analysis of aftershock sequences**

Email: als@ig.cas.cz

Global seismological data covering the period 1964-2002 were used to analyse internal tectonic structure of subducting slab of the Cocos Plate in the region of Central America. Only earthquakes belonging to aftershock sequences were used in our study to ensure spatial affinity of selected events. Ten aftershock sequences in the Wadati-Benioff zone of the subducting slab were chosen according to simple criteria. The spatial analysis of earthquake foci distribution was performed not in a standard coordinate system, but in a rotated cartesian coordinate system related to the inclined subducting slab. Spatial distribution of earthquakes in each aftershock sequence was tested by approximating the events either by a fault plane by least squares method or by a fault zone by a method searching for minimum thickness of the zone. The results of the analysis point to quasi-planar distribution of earthquake foci in selected aftershock sequences. Geometrical parameters of fault zones approximating clusters of events in an optimum way – strike and dip (with respect to the subducting slab) – were calculated and position and geometry of the fault zones compared with sea floor morphology of the Cocos Plate in front of the Middle America trench. Whereas smooth character of the sea floor correlates with aftershock fault zones parallel to the slab or at least parallel to the trench, subduction of the Cocos Ridge coincides with steeply dipping fault zones parallel to the Cocos Ridge strike.

Alexandra Möller (Westfälische Wilhelms Universität Münster) , Ulrich Hansen

## Plumes und Thermals - Mögliche Erklärungen für Coronae auf der Venus

Email: alexandramoeller@web.de

Betrachtet man die Verteilung der Coronae, in etwa kreisrunder, kraterähnlicher Oberflächenstrukturen mit einem Durchmesser zwischen 60 km und 2500 km, auf der Venus so wird deutlich, dass sich diese hauptsächlich in der geologisch sehr aktiven Hochlandregion BAT bestehend aus, der Beta, Atla, Themis Region, konzentrieren, während die Tiefebenen auf der Venus nur sehr wenige und ältere Coronae zeigen. Es wird angenommen, dass die Coronae von kleinen, kurzlebigen Plumes oder Thermals erzeugt werden, wohingegen die großen Hoch- und Tiefebenen im Zusammenhang mit großskaligen Auf- bzw. Abströmen stehen (C.L. Johnson(2003)). Man geht davon aus, dass sich die Venus in einem so genannten "Periodischen Regime" befindet, welches geprägt ist von Zeiten mit fester, größtenteils unbeweglicher Oberfläche, gefolgt von kurzen Phasen, in denen fast die gesamte Oberfläche mobilisiert, subduziert und anschließend neu gebildet wird. Um die Bildung der Oberflächenstrukturen besser zu verstehen ist es folglich nötig die Zusammenhänge zwischen dem langfristigen Konvektionszyklus des Planeten und den kurzlebigen Phänomenen, die zur Entstehung der Coronae führen, näher zu untersuchen.

Zu diesem Zweck werden Simulationen mit einem 2D finite Volumen Konvektionsprogramm nach Trompert u. Hansen (1996) mit temperaturabhängiger Viskosität und einer spannungsabhängigen Rheologie für verschiedene Viskositätskontraste und Rayleigh Zahlen durchgeführt.

Bisherige, teils experimentelle, teils numerische Untersuchungen von C.M.I. Robin zur Entstehung

der Oberflächenstrukturen auf Venus zeigen, dass es unter bestimmten Bedingungen zu einem gemischten Konvektionszustand kommen kann, bei dem Plumes und kurzlebige plumartige Strukturen, so genannte Thermals, parallel existieren. Durch das bei einer vollständigen Subduktion absinkende kalte und hochviskose Material wird das Innere der Konvektionszelle abgekühlt, so dass sich an der unteren Grenzschicht ein starker Temperaturgradient bildet. Die Thermals entstehen aus den Grenzschichtinstabilitäten, die vor der sich ausbreitenden kalten Front auftreten, während sich dahinter aufgrund des erhöhten Viskositätskontrastes langlebigere Plumes mit einer typisch pilzartigen Struktur bilden.

Derzeitige numerische Berechnungen zeigen jedoch, dass die großskalige Konvektion die Entwicklung von langlebigen, strukturell stark ausgeprägten Plumes behindert und auch die Viskositätskontraste bei freier Entwicklung der Konvektion zu gering ausfallen um starke Plumes zu erzeugen.

In weiteren Simulationen soll diese Beobachtung näher quantifiziert und die Entstehung der verschiedenen Plumes genauer untersucht werden. Desweiteren wird derzeit zusätzlich der Einfluss einer temperatur- und druckabhängigen Viskosität auf diesen Zustand untersucht.

**C. L. Johnson, M. A. Richards** : A conceptual model for the relationship between coronae and large-scale mantle dynamics on Venus. In: Journal of Geophysical Research 108 (2003)

**C. M. I. Robin, V. Thayan, A. M. Jellinek, A. Lenardic**

: Transient regimes in Bénard convection in a fluid with a temperature dependent viscosity and imposed large-scale stirring: Applications to Venus. In: Earth and Planetary Science Letters (im Druck)

**R. A. Trompert, U. Hansen** : The application of a finite volume multigrid method to three-dimensional flow problems in highly viscous fluids with a variable viscosity. In: Geophys. Astro. Fluid 83 (1996), S. 261-291

André Fahl (Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster) , Martin Breuer , Ulrich Hansen

## Der Einfluss des Querverhältnisses in der Rayleigh-Bénard-Konvektion

Email: afahl@uni-muenster.de

Konvektion ist ein Transportmechanismus, der in vielen dynamischen Systemen zu beobachten ist. Sobald ein Fluid durch einen thermischen Energieeintrag seine Dichte lokal stark genug ändert, wirken im Gravitationsfeld Auftriebskräfte. Es setzt eine Bewegung ein, die dazu dient, das Fluid wieder in einen stabilen Zustand zurückzuführen. Dieses Bewegungsphänomen heißt Konvektion und ist neben der Wärmeleitung und der Wärmestrahlung ein Transportmechanismus von Wärme.

Im System der Erde lässt sich Konvektion auf und oberhalb der Oberfläche direkt beobachten. Wesentliche Beispiele sind atmosphärische Hadleyzellen, die Passatwinde antreiben und große Meeresströmungen, die durch thermisch und chemisch erzeugte Dichteunterschiede ausgelöst werden. Nicht unmittelbar beobachtbar sind Konvektionsströmungen im Inneren der Erde. Dazu zählen die Mantelkonvektion, deren Auswirkungen in der Plattentektonik zu finden sind und der Geodynamo im Erdkern, der als Quelle für das Erdmagnetfeld angesehen wird.

Um Konvektion methodisch untersuchen zu können, wird sie in einfachen Systemen nachgebildet und beobachtet. Zu diesen Systemen zählt das Rayleigh-Bénard-Experiment. Es handelt sich dabei um eine ebene Flüssigkeitsschicht, deren Unterseite beheizt und Oberseite gekühlt wird. Der Temperaturgradient, der in diesem Fluid herrscht, kann dabei durch Auftriebskräfte das Fluid in Bewegung setzen. Neben den Randbedingungen und der Geometrie hängt die Dynamik des Strömungssystems vor allem von zwei Parametern ab, der Rayleighzahl

$Ra$  und der Prandtlzahl  $Pr$ . Die Rayleighzahl ist als Quotient zwischen den konvektionsantriebenden und konvektionshemmenden Kräften definiert. Die Prandtlzahl ist dagegen eine reine Materialgröße.

In Abhängigkeit von den Randbedingungen und diesen beiden Parametern lässt sich nun in Experimenten die Dynamik von Konvektionsströmungen untersuchen. Eine wesentliche Rolle spielt dabei die Nusseltzahl  $Nu$ , die ein Maß für den durch das System erzeugten effektiven Wärmetransport ist. Dabei sind die Mechanismen des Wärmetransports der in der Natur beobachtbaren Strömungssysteme und sogar auch des vergleichsweise einfachen Rayleigh-Bénard-Experiments nicht vollständig verstanden. Eine Untersuchung der Abhängigkeit der Nusseltzahl von den Parametern  $Ra$  und  $Pr$  kann zur Klärung einiger wichtiger Aspekte beitragen, wie zum Beispiel der thermischen Entwicklung des Erdkörpers oder dem Wärmehaushalt der Atmosphäre.

Die Vergleichbarkeit der Resultate von verschiedenen Konvektionsexperimenten ist nicht vollständig geklärt. Die Rayleighzahl und die Prandtlzahl vereinfachen zwar den direkten Vergleich, dennoch ist der Einfluss des Querverhältnisses auf das Systemverhalten weitestgehend unbekannt. Die Handhabung der verwendeten Fluide in den Experimenten verhindert teilweise die Anpassung der Messkammer an die gewünschte Geometrie. Einen wesentlichen Vorteil bieten dagegen numerische Modellierungen. Durch die numerische Behandlung sind die Temperatur- und Geschwindigkeitsfelder an



jedem Ort und zu jedem Zeitpunkt bekannt. Dabei können die Eigenschaften der simulierten Flüssigkeit und auch die Geometrie relativ einfach geändert werden.

Anhand einer numerischen Simulation einer zweidimensionalen kartesischen Rayleigh-Bénard-Anordnung haben wir den Einfluss des variierenden Querverhältnisses auf das Verhalten von thermisch angetriebenen Konvektionsströmungen untersucht. Die Simulationen wurden bei einer festen Prandtlzahl von  $Pr = 100$  für verschiedene Rayleighzahlen über einen Wertebereich von  $10^3 \leq Ra \leq 10^{12}$  durchgeführt. Das Querverhältnis  $\Gamma$  (Breite durch Höhe) des Fluidcontainers variierte dabei von  $\Gamma = 0,25$  bis  $\Gamma = 4,0$ .

In Abhängigkeit von der Rayleighzahl konnten drei Strömungsregime beobachtet werden, die stationäre Lösungen, periodisch zeitabhängige und unregelmäßig zeitabhängige Lösungen liefern. Die Regimegrenzen sind dabei für kleinere Querverhältnisse  $\Gamma$  zu höheren Rayleighzahlen verschoben. Die grundlegende Struktur der Strömung besteht dabei in Abhängigkeit vom Querverhältnis aus einer oder mehreren Konvektionszellen.

Die Nusseltzahl zeigt im unregelmäßig zeitabhängigen Regime eine exponentielle Abhängigkeit von der Rayleighzahl. Der Exponent  $b$  des funktionellen Zusammenhangs  $Nu \propto Ra^b$  nimmt dabei mit ansteigendem Querverhältnis ab. Dieses Verhalten wird von aktuellen theoretischen Modellen nicht vorhergesagt. Die Modellierungen zeigen jedoch, dass das Querverhältnis  $\Gamma$  ein Parameter ist, der das Verhalten der Strömung wesentlich beeinflusst.

Marc Holland (Geologie - Endogene Dynamik, RWTH Aachen) , Janos Urai , Keith Rawnsley , Ramon Loosveld

## **Characterization of a Regional Fault and Fracture Network using a multiscale approach - A study on overpressured Carbonates, Jebel Shams, Oman.**

Email: [m.holland@ged.rwth-aachen.de](mailto:m.holland@ged.rwth-aachen.de)

Alpine deformation of the Natih and Shuiaba formations in the Oman Mountains occurred at shallow crustal level in three main phases: a regional set of joints was formed after deep burial and formation of overpressures, followed by bedding-parallel shear, and late normal faulting during the drainage of the high pressure cell (Hilgers et al., 2006). We present first results of a study of structures formed by the first and third phase, on the SW side of Jebel Shams with more than  $100\text{km}^2$  of exceptional outcrop of the economically important Natih and Shuiaba formations, cut by deep wadis adding vertical sections up to a  $1000\text{m}$ . Detailed field work was integrated with analysis of high-resolution Quick-Bird satellite images and microstructural study of samples from faults and fractures. Interpretation of the satellite image with  $0.7\text{m}$  spatial resolution produced a dataset of around 180.000 fractures and a network of normal faults with offsets between  $10\text{cm}$  and  $500\text{m}$ . Comparison of the satellite image with downsampled images generated from field photographs defines the resolution of the mapping and documents structures below the resolution of the satellite image. Mechanical stratigraphy is formed by massive carbonate layers up to several hundred meters thick, separated by hard mudstones and shales. Density and orientation distribution of the joints is remarkably consistent in the thick, massive carbonate units over the whole area. The joints are invariably dilatant and filled by coarse grained calcite veins up to  $10\text{cm}$  thick. Age relation-

ships between vein sets as shown by crosscutting relationships vary over the area. Fault zones tend to initiate by reactivation of preexisting veins, are up to  $20\text{m}$  wide, filled by a complex set of calcite veins showing several deformation events producing fault breccia which is in turn re-sealed by younger veins.

Andreas Wittwer (IFM-GEOMAR, Kiel) , Heidrun Kopp , Diana Wagner , Ernst Flueh , Wolfgang Rabbel

## Wide-angle seismic investigation of the central Java subduction zone

Email: awittwer@ifm-geomar.de

Offshore wide-angle data acquired by ocean bottom instruments of a combined onshore-offshore investigation of the tectonic framework of central Java are presented in this study. The joint interdisciplinary project MERAMEX (Merapi Amphibious Experiment) was carried out to characterize the subduction of the Indo-Australian plate beneath Eurasia.

The interpretation of three marine wide-angle data profiles, modelled with forward raytracing, indicates that the subduction of the Roo Rise, located south of central Java, with its thickened oceanic crust strongly influences the subduction zone.

Large scale forearc uplift is manifested in isolated forearc highs, reaching water depths of only 1000 m compared to 2000 m water depth off western Java, and results from oceanic basement relief subduction. The eastern dip profile is strongly disturbed with a heterogeneous velocity distribution in the forearc region as a result of compressible forces in N-S direction. The dip angle of the downthrusting oceanic plate is  $10^\circ$  and its crustal thickness increases eastward from 8 km to 9 km over a distance of 100 km between both dip profiles off central Java.

A broad band of seamounts trends E-W at approximately  $10^\circ$ S. Its incipient subduction off central Java causes frontal erosion of the margin here and leads to mass wasting due to oversteepening of the upper trench wall. A suite of wide-angle profiles off southern Sumatra to central Java indicates a conspicuous change in the tectonic environment between longitudes  $108^\circ$ E and  $109^\circ$ E. The well-developed accretio-

nary wedge off southern Sumatra and western Java diminishes into a small frontal prism with steep slope angles of the upper plate off central Java.

A.S. Lindeque ((1) GeoForschungsZentrum Potsdam (2) CGS Council for Geoscience Cape Town, South Africa (3) AEON Africa Earth Observatory Network, University of Cape Town, South Africa ), T. Ryberg , Michael Weber , Maarten de Wit

## **A Near Vertical Seismic Reflection Profile Across the Beattie Magnetic Anomaly, South Africa**

Email: ansali@gfz-potsdam.de

Under the Inkaba yeAfrica German/South African research collaboration, controlled source Near Vertical Reflection (NVR) Seismic data were acquired along a ca.100km profile, that traversed the Beattie Magnetic Anomaly (BMA). The purpose of the experiment was to image the crust and to gain an understanding of the source of the BMA. First results show a highly reflective crust with three distinct regions: the upper, middle and lower crust. In the upper crust, a series of flat lying reflectors at a depth of 2-8km, geologically represents the bedding of the Phanerozoic Karoo and Cape Supergroups. An apparent decollement separates the Whitehill Formation near the base of the Karoo basin from the underlying Cape Supergroup. A seismically defined unconformity separates these sequences from a well defined ca. 20km thick mid-crustal layer that hosts the BMA. The mid-crustal layer is probably a subsurface continuation of the 1.0-2.0 Ga Namaqua-Natal Orogenic Belt amphibolite facies Bushmanland sub-province, which was subjected to amalgamation around 1.2Ga and extension around 1.0 Ga. The internal seismic fabric of the mid-crust dips north, in contrast with previous geological models that postulate a tectonic dip to the south. The probable source of the BMA appears as a narrow feature (10-20km wide) ranging from 8-28km in depth and confined to a structurally complex cryptic suture zone. The 5-25km thick lower crust displays a seismic fabric that dips south and may represent the granulite grade Na-

maqua. A possible lowermost layer, less than 5 km thick and parallel to the Moho, may represent mafic material that underplated the Namaqua Orogen during extensional tectonics at 1.0 Ga. The undulating Moho occurs at a depth of ca 42km and deepens to ca 45 km under the Cape Fold Belt in the south. Integration of the NVR data with tomography and magnetotelluric data along the same transect is in progress.

U. Micksch , Charlotte M. Krawczyk (GFZ Potsdam) , T. Ryberg , Manfred Stiller , TIPTEQ Research Group

## **The Seismogenic Coupling Zone in Southern Central Chile, 38° S: A Reflection seismic image of the subduction zone (Project TIPTEQ)**

Email: lotte@gfz-potsdam.de

The multi-disciplinary project TIPTEQ (from The Incoming Plate to mega-Thrust Earthquake processes) investigates the seismogenic coupling zone in Southern Central Chile and the associated subduction zone processes between the Pacific Ocean and the volcanic arc. The reflection seismic component of TIPTEQ encompasses a 110 km long profile which spans from the coast over the down-dip end of the seismogenic coupling zone, crossing the 1960 Valdivia earthquake hypocentre.

180 three-component geophones were deployed (100 m spacing) along an 18 km wide spread whereof 4.5 km were shifted in a daily roll-along. With 100 borehole shots, 1.5 km apart, this up to 8-fold covered line delivers a high-resolution image of the seismogenic coupling zone. 15 additional shots in an expanding spread profiling configuration focussed on the seismogenic coupling zone. SH wave source signals were generated to yield an improved picture of the petrophysical contrasts within the system.

The SPOC-South wide-angle data velocity model is combined with a first-break tomography velocity model to get an advanced migration image. The subducting Nazca plate can be traced from a depth of 25 km below the coast down to a depth of 50 km at the eastern end of the profile. Structural evidence suggests that material is transported down in a subduction channel. From slow uplift of the Coastal Cordillera we conclude that basal accretion of parts of this material controls the seismic architecture

and growth of the south Chilean crust. Between depths of 5 to 25 km several bright reflectivity spots can be seen in the upper plate, which may suggest fluid traps in the accretionary wedge. The tomographic p-wave velocity model reaches approximately 10 km depth. Its segmentation corresponds to the geological units mapped at surface. The sediment thickness in the Central Valley is approx. 3 km, and we see prominent fault systems like the Lanalhue fault zone also in the tomographic model. At present, almost no seismicity is observed along the entire, approximately 130 km wide seismogenic coupling zone, which could point to a higher coupling and stress accumulation in the region.

---

## **2.11 GE - Geoelektrik**

Jörn Schünemann (Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben, Stilleweg 2, 30655 Hannover)

## Tensorgeoelektrische Messungen über einer eiszeitlichen Rinne

Email: joern.schuenemann@gga-hannover.de

Geoelektrische Tensormessungen (Bibby, 1977, Bibby & Hohmann, 1993) bieten die Möglichkeit die Lage von Anomalien genauer zu bestimmen. Aus zwei in der Richtung verschiedenen Stromeinspeisungen, deren Entfernung zum Messpunkt, sowie der Bestimmung aller E-Feld-Komponenten lassen sich die Elemente des Tensors ermitteln. Für einen solchen Tensor existieren drei rotationsunabhängige Invarianten, von denen zwei, die mittlere Widerstände darstellen, für die Auswertung von Interesse sind. Mit Hilfe der Tensormessungen ist es möglich kleinräumige Störungen einzugrenzen und dadurch beispielsweise den Aufbau der untersuchten Strukturen genauer zu ermitteln.

Für diese Messungen wurden auf einer Fläche von 6 km<sup>2</sup> über einer eiszeitlichen Rinne im Raum Cuxhaven 20 Messpunkte mit je vier Elektroden und einem Datenlogger vom Typ Geolore im Abstand zwischen 500 m und 1000 m aufgebaut. Dadurch, dass jeder Logger über drei Messkanäle verfügt, konnten insgesamt 60 Dipole mit einer Länge von je 75 m aufgebaut werden. Die Logger zeichneten mit einer Frequenz von 8 Hz auf.

Zum Einsatz kamen Kupfer/Kupfersulfatelektroden in einer sternförmigen Anordnung. Um eine zentrale Elektrode, die als Minuspol diente, waren im Winkel von je 120 Grad die drei anderen Elektroden angeordnet. Es gab also drei Dipole mit einer gemeinsamen Elektrode in der Mitte. Da für die Bestimmung des E-Feldes nur zwei Dipole notwendig sind, kann mit dem dritten

Dipol eine Redundanz erreicht werden, für den Fall, dass eine der äußeren Sonden ausfällt. Für die Stromeinspeisungen wurden an jedem der 10 Stromeinspeisepunkte drei Einspeisungen im Winkel von jeweils 120 Grad zueinander vorgenommen. Die Stromeinspeisung erfolgte mit Hilfe einer im GGA-Institut entwickelte Hochstromquelle. Als Signal wurde ein Rechtecksignal mit einer Periodendauer von 8-9 Sekunden gewählt.

Während der gegenwärtig stattfindenden Auswertung werden auftretende Störfrequenzen herausgefiltert und Driften beseitigt. Weiterhin erfolgt eine Korrelation der Zeiten von Stromeinspeisung und Spannungsmessung. Anschließend können die Tensoren berechnet und die mittleren Widerstände bestimmt werden. Die Messungen wurden in Zusammenarbeit mit der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt durchgeführt.

Bibby, 1977: The Apparent Resistivity Tensor, *Geophysics*, 42, p. 1258-1261

Bibby & Hohmann, 1993: Three-dimensional interpretation of multiple-source bipole-dipole resistivity data using the apparent resistivity tensor, *Geophys. Pros.* 41, p. 697-723

Sabine Kruschwitz (Berlin/Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung) , Ernst Niederleithinger

## **SIP an salzbelasteten Baumaterialien und FE Modellierung von Effekten der Mikrostruktur**

Email: s.kruschwitz@gmx.de

Einleitung Zuverlässig und zerstörungsfrei Feuchte- und Salzfracht in Mauerwerken zu bestimmen, ist eine der schwierigsten und wichtigsten Aufgaben in der Bauwerkserhaltung. Die Untersuchung der komplexen elektrischen Eigenschaften von Laborproben nach Sättigung mit unterschiedlichen Salztypen und –belastungsstufen zeigt neue Möglichkeiten, aber auch Grenzen der Methode. Um den Einfluß der Porenstruktur gegenüber dem chemischer Veränderungen besser abzuschätzen, wurde eine Parameterstudie mit einer FE Routine durchgeführt, die bildbasiert effektive Impedanzen willkürlicher Leitfähigkeitsverteilungen berechnet.

SIP Charakteristika salzbelasteter Baustoffe Nach Vollsättigung mit destilliertem Wasser zeigt sich für Baumaterialproben eine positive log-log lineare Korrelation zwischen Position des Phasenpeaks im Frequenzbereich und der dominanten Porenhalsgröße. Umgekehrt linear dazu verhält sich die Größe des Phasenpeaks. Baustoffe mit einer dominanten Porenhalsgröße zwischen 20 und 100 $\mu\text{m}$  (Sandstein, Porenbeton und Kalksandstein) zeigen deutliche Phasenpeaks zwischen  $-50$  und  $-10\text{mrad}$ . Überwiegt der Anteil sehr enger Porenhälse (10 $\mu\text{m}$  und kleiner, Betone, Mörtel und einige Ziegel) betragen die Phasenwinkel bereits bei geringem Salzgehalt weniger als  $-5\text{mrad}$  (Niederleithinger (2006)). Zuverlässige Analysen sind daher für diese Stoffgruppe aufgrund der niedrigen und dann oft fehlerbelasteten Messwerte deutlich schwieriger. Mit zunehmender Salinität des Sättigungsfluids nimmt generell die Widerstandsamplitude der Materialien ab. Ob-

wohl die Phase meist ebenfalls sinkt, zeigt die imaginäre Leitfähigkeit, die ein direktes Maß der Polarisierbarkeit ist, in der Regel zunächst eine Zunahme bis zu Konzentrationen um  $0,005\text{mol}^{-1}$  und erst danach eine Abnahme. Die Messergebnisse belegen, daß Kationen eine wesentlichere Rolle für das Polarisierungsverhalten spielen als Anionen. Zweiwertige Kationen (hier  $\text{Mg}^{2+}$  und  $\text{Ca}^{2+}$ ) sind stärker in der elektrischen Doppelschicht gebunden als einwertige (hier  $\text{Na}^{+}$ ) und führen zu einer deutlich geringeren imaginären Leitfähigkeit bei gleicher Konzentration. Erhöhte Salzkonzentrationen hatten außerdem für die meisten Baustoffe zur Folge, daß sich der maximale Phasenwinkel zu höheren Frequenzen verschob. Diese Beobachtung lässt sich nicht, oder zumindest nicht ausschließlich, durch die Abnahme des Diffusionskoeffizienten der freibeweglichen Ionen im Fluid erklären. Die in Lobo (1984) veröffentlichten Diffusionswerte bestätigen zwar die niedrigen Geschwindigkeiten für  $\text{MgSO}_4$  und  $\text{CaCl}_2$  im Vergleich zu den entsprechenden Salzen mit dem einwertigen Natriumkation, stehen dann aber im Widerspruch zu den sehr ähnlichen Ergebnisse für  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  und  $\text{NaCl}$ ,

Parameterstudie an Mikrostrukturen mittels FE Modellierung Um den Einfluß der Mikrostruktur eines Materials besser von chemischen Effekten zu trennen, wurde eine Parameterstudie für 2D-Geometrien durchgeführt. Das Finite Elemente Programm Ac2D (Garbozi (1998)) berechnet effektive elektrische Impedanzen auf der Grundlage von ebenen qua-



dratischen Gittern, deren Zellen jeweils reale oder komplexwertige Leitfähigkeiten zugeordnet werden. Für die Parameterstudie wurden Gitter der Größe 128x128 verwendet, in denen jeweils drei Phasen stellvertretend für Matrix, Fluid und Grenzschichtfrei wählbar verteilt sind. Die Matrix wird grundsätzlich als nichtleitend angenommen, das Fluid nur mit einer ohmschen (realen) und die Grenzschicht mit einer ohmschen und einer kapazitiven (imaginären) Komponente. Es zeigt sich, daß vor allem die Ausbildung der Grenzschicht sowie ihr Leitfähigkeitsverhältnis zum Fluid von herausragender Bedeutung ist. Für das hier verwendete Leitfähigkeitsmodell kann gezeigt werden, daß eine Abnahme der Grenzschichtmächtigkeit (entsprechend der Abnahme der Debyelänge für zunehmende Salzkonzentration des Fluids) bei sonst gleichen Randbedingungen den maximalen Phasenwinkel reduziert und zu höheren Frequenzen verschiebt. Eine Absenkung der Fluidleitfähigkeit (Erhöhung der Salzkonzentration) führt modellspezifisch zu unterschiedlichen Ergebnissen. Je nach räumlicher Verteilung der leitfähigen Phasen Fluid und Grenzfläche wird entweder eine reine Abnahme oder zunächst ein Anstieg mit darauffolgender Abnahme des Phasenmaximums beobachtet. Die Ergebnisse der Modellierung liefern zunächst eine neue Verständnisgrundlage sowie eine qualitative Bestätigung der Labordaten. Begleitende chemisch-physikalische Untersuchungen mit Hinblick auf die elektrischen Eigenschaften der Grenzfläche (z-Potential) sowie die Erweiterung des Programms zur Verwendung von 3D Strukturen werden folgen.

Literatur Garboczi, E. (1998) Finite Element and Finite Difference Programs or Computing the Linear Electric and Elastic Properties of Digital Images of Random Materials, National Institute of Standards and Technology, BFRL, Gaithersburg, Maryland, 20899, nistir 6269.

Lobo, V. (1984) Electrolyte solutions: Li-

terature data on thermodynamic and transport properties, volume 1 and 2. Niederleithinger E. und Kruschwitz S. (2006) Charakterisierung von Feuchte- und Salzbelastungen in Baumaterial durch Impedanzspektroskopie, Proceedings des 1. Symposiums zur Impedanzspektroskopie, Essen, 16.-17. Mai.

Bernd Kröger (TU Berlin) , Ugur Yaramanci

## Modellierung von elektrokinetischen Effekten in Gesteinen mit Finiten Elementen

Email: kroeger@geophysik.tu-berlin.de

Im Rahmen einer übergeordneten Problemstellung – Modellierung seismo-elektrischer Effekte mit Finiten Elementen – werden hier die Ergebnisse einer Finiten-Elemente-Berechnung elektrokinetischer Effekte in Gesteinen mit dem Simulationssystem COMSOL vorgestellt. Die Kopplung von hydraulischem und elektrischem Fluss in porösen Medien erfolgt aufgrund zweier elektrokinetischer Effekte, die als Strömungspotential und Elektroosmose bekannt sind [2]. Die elektrokinetischen Effekte werden als Transportprozesse im thermodynamischen Sinne angesehen. Es wird gezeigt, wie diese Erscheinungen in einem Zweikomponentensystem aufgrund der reziproken Onsager-Beziehung miteinander verknüpft werden können. Die aus diesem Zusammenhang resultierenden gekoppelten Differentialgleichungen werden in COMSOL implementiert und modelliert [3]. Geometrische Grundlage der Modellierung ist ein idealisiertes zweidimensionales System bestehend aus zwei Teilgebieten mit unterschiedlichen Materialparametern, die durch eine physikalische Materialgrenze miteinander verbunden sind. Als Signaleingang für das System dient ein angelegtes Strömungspotential an einem Rand des Systems, was zur Erzeugung der elektrokinetischen Effekte an der Materialgrenze führt. Die Modellierung ergibt die Verteilung des Druckes, der elektrischen Spannung, der hydraulischen und elektrischen Stromsysteme sowie der magnetischen Flussdichte. Dieser erste Modellierungsteil orientiert sich weitestgehend an dem von Friedel in [1] beschriebenen Modell. Ein zweiter Modellierungsteil be-

fasst sich mit Sensitivitätsstudien der einzelnen physikalischen Parameter, die die gekoppelten Differentialgleichungen des Systems bestimmen. Dazu werden die elektrische Leitfähigkeit, die Permeabilität sowie der elektrokinetische Kopplungskoeffizient jeweils variiert und die aus dieser Variation resultierende Systemantwort mit derjenigen des Ausgangsmodells verglichen. Die Modellierungsergebnisse zeigen, dass die größten Änderungen in der Signalamplitude nicht vom Kontrast der Permeabilität, sondern von demjenigen der Leitfähigkeit und des Kopplungskoeffizienten hervorgerufen werden. Ein weiterer Punkt ist die Betrachtung der Temperaturabhängigkeit der einzelnen Parameter. Es stellt sich heraus, dass aufgrund von unterschiedlichen Wassertemperaturen signifikante Unterschiede in der Signalamplitude auftreten [3]. Die aus der Untersuchung der elektrokinetischen Effekte resultierenden Modellierungsergebnisse zeigen, dass sich Finite Elemente und speziell das Softwarepaket COMSOL zur Simulation komplexer gekoppelter geophysikalischer Phänomene in Form elektrokinetischer Effekte sehr gut eignen. Motiviert durch diese Ergebnisse, wird in einer weiterführenden Arbeit versucht, eine Modellierung seismo-elektrischer Effekte in Gesteinen mit Finiten Elementen durchzuführen (bisher ausschließlich mit Finiten Differenzen).

Literaturverzeichnis:

[1] Friedel, S. (2005): Can subsurface water flow be sensed magnetically? Results from electrokinetic volcano simulations. Proceedings COMSOL Multiphysics Conference 2005. [2]

Revil, A. (1999): Streaming potential in porous media, 2. Theory and application to geothermal systems. *Journal of Geophysical Research*, Vol.104, Number B9; 20033-20048. [3] Kröger, B. (2006): Modellierung von elektrokinetischen Effekten in Gesteinen mit Finiten Elementen (FEMLAB). Studienarbeit TU Berlin (unveröffentlicht).

Christina Flechsig (Universität Leipzig) , Claudia Schütze , Carsten Rucker

## Geoelektrische Untersuchung einer magmatischen Entgasungszone im Eger-Rift/NW-Böhmen: Fallstudie für die Mofette Hartousov

Email: geoflec@uni-leipzig.de

Innerhalb Mitteleuropa existieren zwei Vulkanfelder mit einem starkem CO<sub>2</sub>-dominierten Fluidfluss (Eifel und Vogtland/NW-Böhmen), der in zahlreichen Mineralquellen und Mofetten zu Tage tritt. Diese CO<sub>2</sub>-Entgasung ist Ausdruck rezent ablaufender aktiver magmatischer Prozesse, die ihre Quellen nach geochemischen Indikationen (Bräuer u.a. 2003) im subkontinentalen, lithosphärischen Mantel haben. Beim Aufstieg wechselwirken die Fluide mit den umgebenden Gesteinen der Kruste und können nach derzeitigem Verständnis zu Bruchprozessen in der Kruste führen; die fast periodisch auftretenden Schwarmbeben des Vogtlandes/NW-Böhmens stehen wahrscheinlich damit in Verbindung. Laufende Forschungsvorhaben, in die sich die geoelektrischen Untersuchungen einordnen, zielen u.a. auf Prozesse in aktiven Störungszonen und fluidinduzierte Geo-Bio-Wechselwirkungen. Insofern Beobachtungen und Messungen des Fluidflusses im wesentlichen nur an der Oberfläche möglich sind, ist neben grundlegenden Untersuchungen zur Fluidentstehung, -aufstieg und -wechselwirkung in der Lithosphäre ist zu verifizieren, welchen Einfluss die Struktur und die Eigenschaften des erdoberflächennahen Bereichs auf die Fluidbewegung haben, da diese Zone von externen Einflüssen wie meteorologischen Bedingungen, wechselnden Grundwasserständen und GW-Strömungsverhältnissen abhängig sind. Als Untersuchungsobjekt wurde die Mofette Hartousov (NW-Böhmen) gewählt, die sich in eine Reihe weiterer N-S angeordneter Mofetten mit Signaturen subkrustaler, magmatischer Entga-

sung südlich des Epizentralgebietes Novy Kostel entlang einer tektonischen Störung (Bankwitz u.a. 2003) einordnet. Bei der Mofette Hartousov handelt es sich um eine CO<sub>2</sub>-dominierte (>99 Vol.

Die im August 2006 durchgeführten geoelektrischen Messungen betrafen a) die Erfassung der räumlichen Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstands im Umfeld der Mofette durch gleichstromgeoelektrische Messungen mit Tiefenaussagen bis 12-15 m, b) die Kartierung der natürlichen elektrischen Felder mit ergänzenden CO<sub>2</sub>-Messungen. Zusätzlich wurde die zeitliche Variation des natürlichen Feldes registriert.

Die Inversionsergebnisse der gleichstromgeoelektrischen Untersuchungen auf 5 Profilen (jeweils 75m) zeigen sehr markante Strukturen, z.B. die unmittelbar unter der Mofette befindliche Gasausstiegszone, die sich durch geringe spezifische elektrische Widerstände (<150 /*Ohm*<sub>m</sub>) von umgebenden strukturellen Einheiten (>300 /*Ohm*<sub>m</sub>) unterscheidet. Diese Widerstandskontraste sind zwar vor allem direkt an der Mofette zu finden, allerdings fallen entlang einer NW-SO-Linie weitere derartige Strukturen auf, deren Erstreckung mit einer lokalen Störungszone interpretiert werden kann. Die Registrierung der Eigenpotentiale erfolgte auf den gleichen Profilen wie die DC-Geoelektrik. Die Mofette zeichnet sich als deutliches SP-Minimum mit einer Amplitude von -30 mV ab. Bei der Generierung des als eine Ursache in Frage kommenden Strömungspotentials können Beiträge durch den „upflow“

des magmatischen CO<sub>2</sub> die Infiltration meteorischen Wassers und die Entwässerung zum Fluss Plesna kommen, des weiteren kann auch der Chemismus der Mofette (saures Milieu und Tonminerale) bei der Generierung von Eigenpotentialen eine Rolle spielen. Es besteht eine signifikante Korrelation zwischen erhöhten CO<sub>2</sub>-Gehalten in der erdoberflächennahen Luft (Gasaustrittszonen), niedrigen spezifischen elektrischen Widerständen bis in 10 m Tiefe und negativen Werten im Eigenpotential.

Claudia Schütze (Institut für Geophysik und Geologie Leipzig) , Anita Just , Carsten Rücker , Ulrich Serfling , Franz Jacobs

## **Strukturerkundung und Monitoring von Problemzonen im Salinar mittels DC-Geoelektrik**

Email: schuetze@uni-leipzig.de

Steinsalz stellt aufgrund seiner geringen hydraulischen Permeabilität und der damit begründeten Barrierewirkung eine geeignete geologische Formation für die Deponierung toxischer Abfälle dar. Klüfte, Schichtgrenzen und bergbaulich verursachte Auflockerungszonen können die Barrierewirkung extrem beeinträchtigen, da diese Zonen hydraulische Wegsamkeiten bedeuten. Feuchtestellen in diesen Problembereichen kann in Zusammenhang mit vorhandenen Fließwegen eine unkontrollierte Migration von abgelagerten Schadstoffen zur Folge haben.

Der Einsatz nichtinvasiver geophysikalischer Untersuchungsmethoden zur Bewertung der Sicherheit der Untertagedeponien ist daher zwingend notwendig. Die DC-Geoelektrik ist ein Verfahren, das sich besonders zur Erkundung von Laugenzonen anbietet, da der Kontrast im spezifischen elektrischen Widerstand zwischen trockenem Salzgestein und Salzgestein mit Wassergehalt mehrere Größenordnungen überstreicht (YARAMANCI, FLACH, 1992)).

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Verbundprojektes „Universelles integriertes Mess- und Auswertearbeitsinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar“ (FKZ: 02C1305, 02C1315, 02C1325) wurde eine Beispiellokation im ehemaligen Kalibergwerk Teutschenthal bei Halle/Saale für die zeitabhängigen geoelektrischen Strukturerkundungen ausgewählt. An diesem Referenzstandort

innerhalb einer neu aufgefahrenen Verbindungsstrecke im Steinsalz befindet sich ein Laugenaustritt aus dem Liegenden (Hauptanhydrit). Die Strukturerkundung umfasste mehrere Profile am Stoß, auf der Sohle und an der Firste sowie zwei Kreisprofile über den Streckenquerschnitt. Die Ergebnisse der Messungen zeigen im Sohlenbereich sehr geringe spezifische elektrische Widerstände um  $10 \Omega\text{m}$  aufgrund der hohen Durchfeuchtung durch den Laugenaustritt. Die trockenen Zonen in der Firste und im Stoß sind mit spezifischen elektrischen Widerständen bis zu  $10^8 \Omega\text{m}$  gekennzeichnet. Der Bereich der Laugenaustrittsstelle stellt eine deutlich detektierbare Anomalie in der Widerstandsverteilung dar (JUST ET AL., 2006).

Von großem Interesse hinsichtlich der Sicherheitsbewertung der Untertagedeponie ist die Beobachtung der zeitlichen Variation des Laugenaustritts. Dazu wurden innerhalb des vergangenen Jahres die Messungen an einem exemplarischen Stoßprofil mehrfach wiederholt. Die Menge des Laugenaustritts variierte in diesem Zeitraum zwischen  $1 - 2 \text{ m}^3/\text{Tag}$ . Die Resultate der gleichstromgeoelektrischen Untersuchungen sind Modelle der Widerstandsverteilung mit offensichtlichen Veränderungen, die sich mit der Laugensituation während der einzelnen Messkampagnen korrelieren lassen.

YARAMANCI, U., FLACH, D. (1992): Resistivity of Rock-Salt in Asse (Germany) and Petrophysical Aspects. *Geophysical Prospecting* 40(1), 85 - 100.

JUST, A., NÜSCH, A.-K., SCHÖNFELDER, W., RÜCKER, C., JACOBS, F., KRAUSE, Y. (2006): Geoelektrische Messungen in einem ehemaligen Kalibergwerk. 66. Jahrestagung der DGG, Bremen.

Helmut Rodemann (GGA-Institut, Hannover)

## **Buchstabenrechnung (Symbolic Algebra), gekauft (“Maple“) und selbst programmiert. Anwendung auf ein Problem aus der Geophysik.**

Email: [h.rodemann@gga-hannover.de](mailto:h.rodemann@gga-hannover.de)

Computer sind nicht nur zu numerischen Rechnungen (etwa  $1.2 + 4.5 = 5.7$ ) in der Lage, sondern auch zu Buchstabenrechnungen, z.B.  $(a + b)^2 = a^2 + 2 * a * b + b^2$ , Differentiationen usw. Diese Fähigkeit kann dazu genutzt werden, Formeln zu entwickeln oder bereits entwickelte Formeln zu überprüfen. Hierzu sind bereits verschiedene Programme auf dem Markt, etwa “Maple“, “Macysma“ und “Mathematica“. Aber auch das Selbst-Entwickeln solch eines Programms, hat seinen Reiz, auch wenn es in der Regel weniger “professionell“ sein wird und bestimmte Funktionen nicht ausführbar sein werden, z.B. eine Integration und das allgemeine Faktorisieren (sogenannte Gröbner-Basen).

Zunächst muss ein sogenannter Parser entwickelt werden, der es gestattet, quasi beliebige Formelausdrücke in einfache Anweisungen (etwa nach einem 3-Adresscode) zu zerlegen. Dabei muß die (eventuell eingebbare) Operatorenhierarchie mit Unterscheidung zwischen Präfix-, Infix- und Postfix-Operatoren und der Real-Zahlen-Syntax sowie die Klammerhierarchie berücksichtigt werden. Anschließend muss es möglich sein, die 3-Adresscodes entweder numerisch oder symbolisch auszuwerten. Schließlich muss man die resultierenden Ausdrücke jeweils zusammenfassen können. Parallel dazu können Differentiationen von recht allgemeinen Ausdrücken durchgeführt werden.

Auf dieser Basis kann eine ganze Reihe von Kommandos entwickelt werden, weiterhin kann z.B. ein Präprozessor-Programm geschrieben werden, das es gestattet, etwa mit einem

guten Basis-Compiler (Power Basic), der wie die meisten Compiler keine Rechnung mit komplexen Zahlen ausführen kann, doch komplexe Zahlen zu behandeln (als Zahlenpaare mit veränderten Bedeutungen der Operatoren).

Weiterhin können mit einem separat geschriebenen lineare Gleichungssysteme mit z.B. 8 Unbekannten und symbolischen Ausdrücken für die Koeffizienten (hier nach der Kramer-Regel, Gauss-sche Elimination soll ebenfalls möglich sein) gelöst werden. Eine einfache graphische Ausgabe, Nullstellensuche usw. ist ebenso möglich.

Ein Vorteil relativ zu einem gekauften Programm: Man (der Autor) weiß, wie es funktioniert. Der Autor arbeitet eventuell in der gleichen Sektion und steht gegebenenfalls eher zur Verfügung. Er kann es leichter korrigieren und an besondere Anforderungen anpassen.



Melanie Bock (Institut für Geowissenschaften, Universität Mainz) , Klaus Regenauer-Lieb , Martin Lotze , Thorsten Wilke , Frank-Thomas Lentens , Carsten Rucker , Nobert Siedow

## Untersuchung von Konvektionen im Laborversuch mit Hilfe der geoelektrischen 3D-Tomographie

Email: melanibo@students.uni-mainz.de

Konvektionen entstehen sowohl im Erdmantel als auch in Glasschmelzwannen durch Unterschiede in der Temperatur, der Dichte und der Konzentration. Über numerische Modellierungen soll das Verständnis für derartige Vorgänge im Erdmantel verbessert werden. Für die Verifizierung der so gewonnenen Erkenntnisse sind Untersuchungen im Labor unerlässlich. Gleiches gilt für die Anwendung in der Glasschmelztechnik. Um die Strömungen in einer Glaswanne während des Schmelzvorganges gezielt einstellen zu können, muss die dreidimensionale Temperaturverteilung bekannt sein. Allerdings sind direkte Temperaturmessungen ohne Beeinflussung der Strömungen nur am Rand der Schmelzwannen bzw. des Versuchsbeckens möglich.

Für die Laborexperimente wird ein viskoses Gemisch aus Wasser und Polyethylenglykol verwendet. Durch Heizen des Beckenbodens bilden sich Konvektionszellen im Inneren der Flüssigkeit aus. Da mit steigender Temperatur die spezifische elektrische Leitfähigkeit zunimmt, kann mittels der gleichstromgeoelektrischen 3D-Tomographie zunächst die dreidimensionale Leitfähigkeitsverteilung und daraus die Temperaturverteilung im Versuchsbecken berechnet werden.

Die Grundlage dafür bildet die Formel von Vogel (1), Fulcher (2) und Tammann (3), die den Zusammenhang zwischen Temperatur und Leitfähigkeit definiert.

Vorgestellt werden das Verfahren sowie erste Ergebnisse.

Literaturnachweis:

- (1) Vogel, H. (1921): Physikalische Zeitschrift, 22; 645-646
- (2) Fulcher, G. S. (1925): Journal of the American Ceramic Society, 8 (6); 339-355
- (3) Tamman, G., Hesse, W. (1926): Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie, 156; 245-257

Marcus Möller (TU Clausthal, Inst. f. Geophysik) , Andreas Weller

## Vergleichende geoelektrische Untersuchungen an Hochwasserschutzdeichen

Email: [marcus.moeller@tu-clausthal.de](mailto:marcus.moeller@tu-clausthal.de)

Die Hochwasserereignisse der letzten Jahre an Elbe, Mulde und Oder haben gezeigt, dass die Schutzdeiche oftmals unvorhergesehene Schwachstellen aufweisen. Bedingt durch klimatische Veränderungen, nehmen die Anzahl und Intensität der Ereignisse zu. Durch diese zusätzliche mechanische Belastung der Flussdeiche erhöht sich das Risiko einer Überschwemmung der umliegenden Gebiete und damit die Gefahr für die ansässige Bevölkerung.

Diesem Umstand wird durch das BMBF-Projekt DEISTRUKT Rechnung getragen, das seit 2005 verschiedene Projektpartner aus dem öffentlichen Bereich und der Wirtschaft vereint. Mit dem Ziel, eine Richtlinie für Deichuntersuchungen zu schaffen, wurden verschiedene geophysikalische und geotechnische Mess- und Interpretationsverfahren durchgeführt und miteinander verglichen.

Der vorliegende Beitrag beschreibt die Durchführung und die Ergebnisse der geoelektrischen Messungen. An drei Deichabschnitten der Mulde in den Bereichen Friedersdorf (Sachsen-Anhalt) und Löbnitz (Sachsen) wurden insgesamt fünf verschiedene Elektrodenanordnungen (Halb-Wenner, Wenner-Alpha, -Beta, Schlumberger und Pol-Pol) mit Aufstellungsweiten von 0,5, 1,0 und 2,0 m untersucht. Die Messungen wurden auf Profilen senkrecht zur Deichachse mit der Multielektrodenapparatur GMS 150 der Firma GeoSys durchgeführt. Da die Messwerte in Abhängigkeit von der verwendeten Anordnung in unterschiedlichem Maße durch die Geometrie des Deichkörpers beeinflusst werden, wurde eine Topographiekorrektur

durchgeführt. Die so bearbeiteten Daten wurden mit dem Programm AC2DSirt (A. Kampke) invertiert.

Jede der zuvor genannten Elektrodenanordnungen hat Vor- und Nachteile gegenüber den anderen Anordnungen. So bietet beispielsweise die Pol-Pol-Anordnung eine bessere vertikale Auflösung, die Halb-Wenner-Anordnung eine bessere horizontale Auflösung. Als kombinierte Vorwärts- und Rückwärtsmessung weist letztere einen fokussierenden Effekt auf. Der Elektrodenabstand begrenzt schließlich die Größe der aufzulösenden Strukturen und die Erkundungstiefe. Im Hinblick auf die Aufgabenstellung, möglichst schnell potenziell gefährliche Schwachstellen aufzuspüren, bietet die Wenner-Alpha-Konfiguration mit einem Elektrodenabstand von 1,0 m einen guten Kompromiss zwischen Auflösungsvermögen, Erkundungstiefe und Messaufwand. Im weiteren Projektverlauf werden die Ergebnisse der Geoelektrik mit denen anderer geophysikalischer und geotechnischer Verfahren verglichen. Insbesondere interessiert, inwieweit die Bodenparameter aus Labor- und Feldmessungen korrelieren.

Heiko Wiebe (Universität Köln), Jörn Lange, Bülent Tezkan

## Joint-Inversion von Geoelektrik und Radiomagnetotellurik

Email: wiebe@geo.uni-koeln.de

Zu den an der Universität zu Köln häufig genutzten Erkundungsmethoden im oberflächennahen Bereich zählen die Radiomagnetotellurik (RMT) und die Multikanalgeoelektrik. Es ist aus diesem Grund wünschenswert eine Software zu entwickeln, welche die Messdaten beider Messmethoden gemeinsam auswerten kann (Joint-Inversion), um die Auflösung der Untergrundparameter zu verbessern. Dies ist sinnvoll, da sich die Eindringtiefen vom RMT und Geoelektrik überlappen, und die Methoden unterschiedliche Auflösungsseigenschaften bezüglich der Leitfähigkeit besitzen. Die Geoelektrik löst schlechte Leiter besser auf als gute, bei der RMT gilt der umgekehrte Sachverhalt, darum ist der Ansatz einer Joint-Inversion beider Methoden vielversprechend, hier ergänzen sich unter Umständen die jeweiligen Vorteile. Realisiert wurde dieser Ansatz durch die Implementierung der Geoelektrik in ein bestehendes 1D-Inversionsprogramm (emuplus), das bereits Magnetotellurik-Routinen beinhaltet und die Möglichkeit zur Marquardt- und Occaminversion bietet. Zudem beinhaltet emuplus Routinen, die mögliche Äquivalenzmodelle erstellen, z.B. die Monte-Carlo-Inversion, bei der der Parameterraum variiert wird. Es wird angenommen, dass die Joint-Inversion die möglichen Unterschiede in den Äquivalenzmodellen einschränkt, und so dazu beiträgt ein realistischeres Bild des Untergrundes zu erhalten. Es werden Beispiele mit synthetischen und Felddaten gezeigt. Insbesondere wird an synthetischen Daten untersucht, ob sich 2D-Leitfähigkeitsstrukturen mit Hilfe der 1D-Joint-Inversion besser interpretieren lassen,

als durch 1D-Einzelinversionen von RMT und Geoelektrik. Dabei wurde deutlich, dass die Joint-Inversion zu einer besseren Bestimmung von scheinbaren Widerständen und Schichtmächtigkeiten führt. Der entwickelte 1D-Joint-Algorithmus wurde auf einen Felddatensatz angewandt, der im Zusammenhang mit einer geomorphologischen Fragestellung mit einer Multikanal- Geoelektrikapparatur und einem neuen RMT-Meßgerät (10kHz-1MHz) aufgezeichnet wurde.

Anthony uiventak (Geologisches Institut Bonn) , Andreas Hördt , Franz Binot

## **kf-Bestimmung mit SIP bei hohen Wasserleitfähigkeiten und für die Kornfraktion der Kiesen**

Email: [tony@geo.uni-bonn.de](mailto:tony@geo.uni-bonn.de)

Zur Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit (kf-Wert) des Untergrundes aus der spektralen induzierten Polarisation (SIP) sind bisher hauptsächlich Laboruntersuchungen an Lockersedimenten, die eine Korrelation zwischen der komplexen elektrischen und hydraulischen Leitfähigkeit zeigen, durchgeführt und bekannt. Der kf-Wert ist in erster Linie von eminenter Bedeutung für den Grundwasserleiter oder Aquifertyp und spielt somit eine wichtige Rolle für die Trinkwassergewinnung aus natürlichen Grundwässern.

Bei der Anwendung der verschiedenen empirischen Formeln auf SIP-Felddaten unter anderem am Testfeld Krauthausen, erwies sich die Formel von Börner et. al (1996) als geeignet für die Abschätzung des kf-Wertes aus SIP-Felddaten. Bei dem Untergrund in Krauthausen handelt es sich hauptsächlich um Kies. Für weitere Untersuchungen wurden Messungen an anderen Standorten durchgeführt (Lüdingworth/Cuxhaven, Hasloh/Norderstedt, Knielingen/Karlsruhe, Kappelen/Bern, Siegbogen/Hennef und Plittersdorf/Bonn). Die Lithologien variieren von Tonen bis zu Grobkiesen.

Wie vermutet stellt sich bei den Untersuchungen heraus, dass die Wasserleitfähigkeit einen großen Einfluss auf die kf-Bestimmung aus den SIP-Daten hat (Lüdingworth). Obwohl die Wasserleitfähigkeiten in der Börner-Formel berücksichtigt werden, bekommt man aus den SIP-Daten kf-Werte, die mit der Wasserleitfähigkeit variieren. Das bedeutet, dass vermutlich auch der Imaginärteil von der Wasserleitfähigkeit abhängt und dass das in der Börner-Formel

unberücksichtigt bleibt. Anhand der Daten vom Testfeld Lüdingworth wird gezeigt, wie der kf-Wert von der Wasserleitfähigkeit abhängt.

Das Börner-Modell ist weiter abhängig von dem Parameter  $c$ . Börner et. al schlagen für lockere Sedimente ein  $c$  zwischen 2.8 und 4.6 vor. Hierbei kann kf mit zunehmendem  $c$  um einen Größenordnung variieren. Für Kiese werden mit der Börner-Methode trotzdem zu hohe kf-Werte berechnet. Grund hierfür ist die Abnahme des Imaginärteils der komplexen elektrischen Leitfähigkeit, weil die Grenzflächenleitfähigkeit eine untergeordnete Rolle spielt. Deshalb wird ein modifiziertes Börner-Modell, welches unsere Daten besser anpasst, vorgeschlagen.

Zur Kontrolle der Ergebnisse aus SIP-Felddaten werden diese mit bereits vorhandenen kf-Werten, die aus hydrogeologischen Verfahren (Pumpversuchen, Siebanalysen, etc.) bestimmt wurden, verglichen.

Thomas Günther (GGA-Institut) , Carsten Rücker

## **A general approach for introducing structural information – from constraints to joint inversion**

Email: [Thomas.Guenther@gga-hannover.de](mailto:Thomas.Guenther@gga-hannover.de)

Generally the inversion of geophysical data suffers non-uniqueness, i.e. there is a variety of models that fit the data. Therefore we have to ensure a unique solution by restrictions, assumptions as smoothness constraints or additional information. However, the latter is often known not for the petrophysical parameters, but their structures.

We present a generalized minimization approach in order to flexibly manipulate the model characteristics. It is based on a global regularization method with smoothness constraints. On one hand the smoothness operator is affected by a model control that allows a reparameterization and regional varying regularization strength. On the other hand it is weighted by a so-called boundary control, by which structural information is incorporated.

We apply our method to the inversion of DC resistivity data on unstructured triangular meshes, which exhibit the best flexibility to describe a complex geometry. A first example from an underwater survey shows how the new approach is used to compound the resistivity of the overlying water and to enforce horizontally layered structures.

Structural information can be obtained from boreholes that reveal known sharp boundaries at least in the vicinity of the wells. This helps to better delineation of layers in a groundwater-related field campaign. Other structures may be known from different methods as seismics. An example from bedrock detection is used to demonstrate how the seismic refractor is able to significantly improve the resolution of the re-

sistivity data once by introducing it as allowed boundaries in the model. This results in sharp resistivity boundaries at the seismic line but also locates zones where both methods differ.

Finally, our approach can be used to combine different geophysical data by a structural joint inversion. This is essential for disparate methods as seismics and geoelectrics, since a correlation between velocity and resistivity cannot be assumed. Nevertheless we expect a structural similarity that should be enabled without enforcing it. We use the ideas of robust modeling in order to derive weights for one parameter from the model gradients of the other and vice versa. A simple 2-layer example under a changing topography is used to prove how both the resistivity and the velocity image are improved by the structural coupling. Finally a cluster analysis of the parameters is used to compute a very simple and comprehensive image of the subsurface.

Thomas Agricola (Johann Wolfgang Goethe - Universität Frankfurt/Main Institut für Geowissenschaften-Fachseinheit Geophysik), Jörn Schünemann, Andreas Junge

## Großräumige Gleichstromgeoelektrische Messungen in einem Flachsee

Email: agricola@geophysik.uni-frankfurt.de

In einer Machbarkeitsstudie am Kinzigtal-Stausee wurden im Oktober 2006 großräumig gleichstromgeoelektrische Messungen durchgeführt. Das Ziel der Untersuchung ist die Erkundung des geologischen Untergrundes des Sees, in dem nach der geologischen Karte von Ehrenberg & Hickethier (1982) vermutlich zwei Störungen verlaufen. Diese sollen lokalisiert und beschrieben werden. Weiterhin befindet sich im Untergrund eine soleführende Schicht, die ebenfalls lokalisiert werden soll. Ein weiterer Aspekt ist die Erprobung des Messverfahrens, um dieses in folgenden Messkampagnen effektiv einsetzen zu können.

In der unmittelbaren Umgebung und direkt auf dem Seegrund - an drei Stellen im Wasser und an fünf Stellen an Land - wurden elektrische Ströme von bis zu 40 A eingespeist. Die Spannungsmessung erfolgte mittels des in Frankfurt entwickelten Datenloggers GEOLORE (Geophysical longtime recorder, Rossberg et al 2004). Der Abstand zwischen je zwei Strom- bzw. Spannungselektroden eines Dipols betrug 48m. Die Spannungen wurden kontinuierlich an jeder Station mit einer Abtastfrequenz von 4 Hz, gleichzeitig in drei Richtungen (0°, 120° und 240°) aufgezeichnet. Insgesamt wurden neun Unterwasserstationen auf dem Seegrund und fünf Landstationen betrieben. Die Daten wurden in einem Zeitfenster von etwa 25 Tagen gesammelt. Innerhalb dieses Zeitraums wurde an fünf Tagen mit der Hochstromquelle der GGA aus Hannover an jeder Einspeiselokation in jeder der drei Richtungen 0°, 120° und 240° über einen Zeitraum von 20 min ein-

gespeist. Der zeitliche Verlauf des Einspeisestroms entsprach einer Rechteckfunktion. Die größte Entfernung zwischen Einspeisungsstelle und Datenlogger betrug etwa 5 km, die Seetiefe wenige Meter.

Für die Einspeisung des Stromes ist es wichtig, eine gute Ankopplung an den Untergrund herzustellen. An Land ist dies jedoch nicht immer einfach, bei den Einspeisungen im Wasser wurden in kurzer Zeit immer sehr gute Ankopplungen erzielt.

Die Auswertung der Messdaten ist zurzeit in Bearbeitung. Es wird versucht, mit einer FE-Modellierung der Leitfähigkeitsverteilung des Untergrundes die Messdaten zu erklären.

Für den Herbst 2007 oder das Frühjahr 2008 ist eine Messkampagne im Balaton See (Ungarn) geplant. Ziel ist es, eine Störungszone, die durch den See verläuft, zu finden und näher zu beschreiben.

### Literatur

Ehrenberg, K.-H. & Hickethier, H. (1982): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25.000 Blatt Nr. 5622 Steinau a. d. Str. - Hess. Landesamt f. Bodenforschung.

Roßberg, R., Golden, S., Beblo, M. (2004): Datensammeln, fast ohne Energie, Geolore Ein batteriegestützter Datenlogger für wissenschaftliche Messwerterfassung. - Elektronik 18: 78-86.

Hendrik Birnstiel (Institut für Geophysik Uni Leipzig)

## Geoelektrische Untersuchungen an Deichen

Email: hennip79@yahoo.de

Geoelektrische Untersuchungen an Deichen  
H. BIRNSTIEL, E. DANCKWARDT

Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie, Talstr. 35, 04103 Leipzig E-Mail: hendrik\_birnstiel@yahoo.de; erikdt@uni-leipzig.de

An zwei untersuchten Deichen, in Vehra und in Erlbn, wurden verschiedene geoelektrische Messkonfigurationen genutzt, um deren Einflüsse auf ein möglichst genaues Abbild der elektrischen Leitfähigkeitsstruktur im Inneren eines Deiches zu vergleichen. Dazu wurden im Vorfeld 2d-Modellierungen mit den üblicherweise verwendeten Messkonfigurationen, wie z.B. Wenner-alpha, Wenner-beta und Dipol-Dipol, durchgeführt. Außerdem kamen eigene Varianten des Gradienten-arrays zum Einsatz, die in dieser Form noch nicht angewandt wurden. Ergänzt wurden diese durch IP-Messungen in Vehra. Verschiedene Faktoren, wie die Abhängigkeit des Konfigurationsfaktors von der Topographie, das Auflösungsvermögen, die Fehleranfälligkeit und die Messwertanzahl, spielen bei der Wahl der am besten geeigneten Messkonfiguration eine entscheidende Rolle. Der Deich in Vehra liegt 25 km nördlich von Erfurt und trennt einen Seitenkanal der Unstrut vom landeinwärts liegenden Staubecken. Für eine möglichst genaue 3d-Darstellung der Leitfähigkeit und des IP-Effektes im Deichinneren, wurden 24 Querprofile (15 bzw. 20 m Länge, Elektrodenabstand von je 0.5 m) mit zwei unterschiedlichen Gradienten-arrays und 5 Längsprofile (50 m Länge, Elektrodenabstand 0,5 m) auch im Bereich der Spundwand gemessen. In Erlbn, ca. 30 km südlich von Leipzig, wurde

ein Deich, der durch das Hochwasser der Mulde im August 2002 teilweise zerstört wurde, neu errichtet. Durch die genaue Kenntnis des Deichaufbaus können einerseits Modelle des Deiches erstellt und andererseits die Messwerte besser interpretiert werden. Nach Fertigstellung ist es weiterhin möglich die Messkonfigurationen auf ihre Abbildungseigenschaften in Bezug auf die Deichstruktur zu untersuchen. Mit Hilfe eines Elektrodenarrays, welches beim Deichaufbau eingebracht wurde, konnten Ergebnisse von Messungen auf der Deichkrone verifiziert werden. Später können folgende Punkte untersucht werden: erstens, inwieweit Veränderungen in der Leitfähigkeit unterhalb des Deiches registriert werden können; zweitens, ab welcher Änderung in der elektrischen Leitfähigkeit Änderungen in den gemessenen Daten zu erwarten sind; und drittens, ob daraus Aussagen über die durchströmende Wassermenge und deren Fließgeschwindigkeit getroffen werden können.

---

## **2.12 GS - Geschichte der Geophysik**



Heinrich Soffel (Universität München)

## **Der Forscher Gustav Angenheister (1917-1991) und seine Unterstützung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft**

Email: [soffel@geophysik.uni-muenchen.de](mailto:soffel@geophysik.uni-muenchen.de)

Gustav Angenheister uebernahm 1957 als Nachfolger von Hermann Reich (1891-1976) den Lehrstuhl fuer Angewandte Geophysik in der Naturwissenschaftlichen Fakultaeet der Universitaet Muenchen. Mit den nur geringen Mitteln seiner Berufungszusagen ausgestattet, bemuehte sich Angenheister sofort um eine weitere finanzielle Unterstuetzung seiner Forschungsvorhaben durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG). Die noch vollstaendig vorhandenen Akten der Korrespondenz zwischen Angenheister und der DFG zwischen 1957 und 1983, dem Jahr seiner Emeritierung, zeigen uns Angenheister als ausgesprochen vielseitigen und sehr erfolgreichen Wissenschaftler.

Die Themen seiner von der DFG gefoererten Vorhaben reichen von gravimetrischen und magnetischen Feldmessungen, ueber Magnetsphaerenphysik, Gesteinsmagnetismus, Petrophysik, Geoelektrik und Magnetotellurik bis hin zur Entwicklung seismischer Feldapparaturen und zur Reflexions- und Refraktionsseismik. Die Untersuchungen der Krustenstruktur und der geodynamischen Prozesse Mitteleuropas, insbesondere auch im Bereich der Alpen und der Boehmischen Masse, haben ihn besonders in seinen letzten Dienstjahren ausgesprochen fasziniert. Er beteiligte sich auch vielen Schwerpunktprogrammen der DFG an massgeblicher Stelle.

Die Akten zeigen auch, wie sich die Antragsverfahren bei der DFG von zunaechst formlosen und kurz gefassten Schreiben in mehreren Schritten zu der heute ueblichen Antragsform

entwickelten. Zunaechst war Herr Heitz bei der DFG fuer Antraege der Geophysik zustaendig. Das Fach wurde damals noch als Teilgebiet der Physik angesehen. Der Arbeitsbereich Geowissenschaften einschliesslich Geophysik wurde erst 1962 durch die Einstellung von Dr. Franz Goerlich erheblich verstaerkt, dem dann Dr. Dieter Maronde zur Abdeckung der Bereiche Geologie und Mineralogie zur Seite gestellt wurde. Als Dr. Goerlich 1982 in den Ruhestand ging, uebernahm Dr. Johannes Karte die fachliche Betreuung der Antraege der Geophysik.

Die Antraege zwischen 1957 und 1983 zeigen auch, wie die Personal- und auch andere Kosten sich im Lauf der Zeit entwickelten und uebermitteln so ein Bild der Veraenderungen der Bundesrepublik im Zeitintervall Ende der 1950er bis Mitte der 1980er Jahre.

Franz Jacobs (Leipzig/Universität Leipzig Institut für Geophysik und Geologie), Bernd Tittel, Michael Börngen, Johannes Schweitzer

## Das Mintrop-Patent D.R.P.371963 - Im Namen des Reichs

Email: jacobs@uni-leipzig.de

Ludger Mintrop (1880–1956) ist auf Grund seiner bahnbrechenden Leistungen auf dem Gebiet der angewandten Seismik in die Geschichte der Geophysik eingegangen. Durch Weggefährten in der Fa. SEISMOS und andere Zeitzeugen ist vieles aus dem Leben Mintrops in Erinnerung geblieben und den Jüngeren übermittelt worden. Beispielhaft sei auf die Würdigungen durch KERTZ, DGG Mittlg. 3/1991 und KEPPNER, DGG Mittlg. 1/2006 hingewiesen.

Den meisten ist bekannt, dass sich Mintrop ein „Verfahren zur Ermittlung des Aufbaus von Gebirgsschichten“ durch ein Patent ab 7. Dezember 1919 im Deutschen Reich schützen ließ. Vergleichsweise wenig erfahren die Leser in den zahlreichen Schriften zur Person Mintrops über den Inhalt des Patents (Refraktionsseismik?, Kopfwelle?). Gelegentlich findet sich der Hinweis auf einen durch das Patent ausgelösten Rechtsstreit.

Der Vortrag gibt einen kurzen Einblick in den Verlauf dieser patentrechtlichen Auseinandersetzung und versucht, die wissenschaftlichen, kommerziellen, juristischen und auch persönlichen Hintergründe einzuordnen. Im Besonderen wird auf die bisher wenig bekannten Argumente der Gegenseite Mintrops und auf die Person Carl Mainka (1874–1944) eingegangen. Mainka war der direkte Prozessgegner auf der Klägerseite bzw. der Beklagte im von Mintrop veranlassten Berufungsverfahren.

Chronologie des Rechtsstreits Mainka contra Mintrop

7.12.1919	Mintrop beantragt beim Reichspatentamt(RPA) die Patentierung „Verfahren zur Ermittlung des Aufbaus von Gebirgsschichten“
März 1921	Mainka erhebt Einspruch gegen die Patentfähigkeit auf Grund von Vorveröffentlichungen anderer Autoren
23.3.1923	Reichspatentamt gibt Patentschrift aus (patentiert ab 7. 12. 1919)
1923–1927	Patentgegner und Mintrop geraten in tiefgreifende Streitigkeiten unter zunehmender Einbeziehung von Rechtsanwälten
2.1.1927	Mainka erhebt Nichtigkeitsklage gegen das Patent
12.5.1927	Reichspatentamt erklärt das Patent für nichtig
21.7.1927	Mintrop legt Berufung ein
28.6.1930	Reichsgericht in Leipzig hebt Nichtigkeitserklärung des Reichspatentamtes auf. Die Entscheidung ist endgültig. („Im Namen des Reichs“)

Der Vortrag widmet sich einigen nach dem Rechtsstreit offen gebliebenen Fragen: Warum verlor Mainka trotz (in seinem Sinne) glänzender Gutachten und obwohl er über prominente Unterstützung von Persönlichkeiten wie Ambron, Gutenberg, Reich, Weickmann, Schwey-

dar und anderen verfügen konnte. Welche Auswirkungen hatte dieses Patent - als Berechtigung des Inhabers, eine Erfindung allein verwerten zu dürfen - auf die Entwicklung der angewandten Geophysik in Deutschland angesichts zunehmender Konkurrenz aus den USA? Oder gar: Das Patentwesen - nicht nur Motor, sondern oft auch Knebel des Fortschritts?

---

## **2.13 GV - Gravimetrie**

Heidrun Schütze (Institut für Geowissenschaften, Friedrich-Schiller- Universität Jena) , Corinna Kroner , Thomas Jahr

## **Der Tuffschlot bei Ebersbrunn, Westsachsen – Modellierung von Bouguer-Schwere und magnetischem Totalfeld**

Email: Llarian@hotmail.de

In der erdmagnetischen Regionalvermessung der ehemaligen DDR in den 60er Jahren des letzten Jahrhunderts fiel in der Nähe von Ebersbrunn in Westsachsen erstmals eine positive Anomalie in der z-Komponente mit etwa 500 nT auf, deren Streichen mit NW-SE vom umgebenden erzgebirgischen Streichen abweicht. Mit den Ergebnissen einer folgenden Spezialvermessung der z-Komponente des Erdmagnetfeldes wurde eine Isolinienkarte erzeugt. Auf ihrer Grundlage wurden dann vier Bohrungen abgeteuft, mit deren Hilfe der erzeugende Gesteinskörper bestimmt werden sollte. Der angebohrte Gesteinskörper erwies sich als graugrüner Basalttuff in verschiedenen starken Verwitterungsstufen. Er ist mit zahlreichen Nebengesteinseinschlüssen durchsetzt. Durch die Nähe zur südlich von Ebersbrunn gelegenen Kirchner Granitmasse wurde dem Tuffschlot eine lagerstättenkundliche Bedeutung zugewiesen. Mehrere Untersuchungen der SDAG Wismut erfolgten in den 60er und 70er Jahren, unter anderem zahlreiche Kartierungsbohrungen zur Feststellung des Ausbisses der Struktur. Der Tuffschlot liegt in der Kreuzungszone zweier regionaler Störungssysteme, der Regensburg-Leipzig-Rostock-Linie und der Gera-Jáchimov-Störung. Außerdem befindet er sich in der Nähe der Schwarmbebenregion Werdeau (Beben in Fraureuth im Winter 1997/98). Die Assoziation von Schwarmbeben mit Fluidaufstiegen hat den Tuffschlot erneut ins Zentrum des Interesses gerückt. Aus petrografischen Untersuchungen ist bekannt, dass das Gestein des Tuffschlo-

tes sogenannte "pelletal lapilli" enthält, welche typisch sind für hochbewegliche CO<sub>2</sub>- und H<sub>2</sub>O-reiche Magmen. In den Jahren 2003, 2004 und 2006 wurden im Rahmen von Feldpraktika der Friedrich-Schiller-Universität Jena Vermessungen des erdmagnetischen Totalfeldes sowie des Schwerefeldes vorgenommen. Dabei wurden etwa 5200 Messpunkte in der Magnetik und 200 Messpunkte in der Gravimetrie erfasst. Es zeigt sich eine stark zergliederte, NW-SE streichende Anomalie im Totalfeld, ähnlich der aus früheren Messungen beschriebenen, die Werte zwischen -350 und 1000 nT aufzeigt. Die Ausdehnung beträgt etwa 1 km mal 1,5 km. Die gravimetrischen Messungen zeigen ein elliptisches Schwereminimum von etwa -2 mGal in ähnlicher Ausdehnung und mit gleicher Lokalität. Durch eine 3-D Modellierung der Bouguer-Schwere sowie des magnetischen Totalfeldes kann die in etwa runde Struktur am besten erfasst werden. Die Modellierung erfolgt mit dem Programm IGMAS. Als Modellierungstiefe werden 600m benutzt. Um Randeffekte zu vermeiden, wurde das Modell mit einer Ausdehnung von 20 km mal 20 km angesetzt, wobei der Bereich von Interesse etwa 1 km mal 1,5 km groß ist. Das Modell wird dominiert durch senkrecht stehende Strukturen. Für die Erfassung des Totalfeldes ist auf Grund der starken Zergliederung der Anomalie eine Unterteilung in einzelne Störkörper erforderlich. Um den Ansatz einer möglichen Maarstruktur einzubeziehen, wurde für den oberflächennahen Teil des Modells eine Trichterstruktur gewählt.

Thomas Klügel (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Fundamentalstation Wettzell, Sackenrieder Str. 25, 93444 Bad Kötzing) , Hartmut Wziontek

## Atmosphärische Schwereeffekte: Modell-Zeitreihen aus 3-dimensionalen Wettermodellen

Email: thomas.kluegel@bkg.bund.de

Bei der Korrektur atmosphärischer Schwereeffekte in Gravimeter-Zeitreihen wird in den meisten Fällen der lokal gemessene Luftdruck mit einem konstanten oder einem durch lineare Regression ermittelten Faktor multipliziert und von der Gravimeter-Zeitreihe subtrahiert. Auf diese Weise wird zwar ein erheblicher Teil der atmosphärischen Schwereeffekte eliminiert, aber vor allem vertikale Dichteveränderungen, die sich nicht im Bodenluftdruck widerspiegeln, bleiben unberücksichtigt. Dadurch verbleiben die saisonalen vertikalen Dichteveränderungen im Gravimetersignal, wodurch die Analyse anderer systematischer Einflüsse wie langperiodische Erdzeiten, Beschleunigungen durch die Polbewegung oder hydrologische Effekte verfälscht wird.

Zur physikalischen Modellierung der atmosphärischen Schwereeffekte werden das Globalmodell GME mit 60 bzw. 40 km Maschenweite und das Regionalmodell LM (LM1) mit 14 (7) km Maschenweite des Deutschen Wetterdienstes verwendet. Im Bereich des ca. 2000 x 2000 km Regionalmodells wird auf der Basis eines 3-dimensionalen Datensatzes für jede Zelle die Attraktionswirkung auf den Beobachtungsort berechnet, während im übrigen Bereich das Attraktionspotenzial ohne Berücksichtigung der vertikalen Dichteverteilung berechnet und aufsummiert wird. Testrechnungen zeigen, dass für hochempfindliche Geräte wie z.B. supraleitende Gravimeter auch der Bereich außerhalb des Regionalmodells berücksichtigt werden muss.

Das Problem der geringen zeitlichen Auflö-

sung der Wettermodelle von 6 Stunden und der im Nahbereich schlechten Approximation der Quader durch Punktmassen wird durch ein zylindrisches Lokalmittel gelöst, in dem auf der Basis des lokal gemessenen Luftdrucks die Attraktion jeder Modellschicht analytisch und in hoher zeitlicher Auflösung berechnet wird.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei Nichtberücksichtigung der vertikalen Dichteveränderungen in der Atmosphäre eine Jahreswelle von ca. 20 nm/s<sup>2</sup> in der Gravimeter-Zeitreihe verbleibt. Gezeitenanalysen von Zeitreihen supraleitender Gravimeter mit Berücksichtigung der 3-D Wettermodelle zeigen signifikante Änderungen der Gezeitenparameter vor allem der solaren SA- und S1-Wellen gegenüber den Ergebnissen der luftdruckreduzierten Zeitreihe. Durch die verbesserte atmosphärische Korrektur ist nun eine zuverlässigere Analyse weiterer systematischer Anteile im Schweresignal, insbesondere hydrologischer Effekte möglich.

H.-M. Münch (Bonn/Angewandte Geophysik, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn) , Harry Vereecken , H.-J. Kämpel

## Saisonale Änderung von Schwere und elektrischem Bodenwiderstand an einer Verwerfung in der Niederrheinischen Bucht

Email: Muench@Geo.Uni-Bonn.de

Von Mitte 1998 bis Ende 2001 wurden in einem Messnetz über dem „Erftsprung“, einer tektonisch aktiven Verwerfung in der Niederrheinischen Bucht, Relativ-Schweremessungen mit dem LaCoste & Romberg (jetzt: Scintrex) Gravimeter LCR G-1029 durchgeführt. Die Messungen mit einer Auflösung unter  $100 \text{ nm s}^{-2}$  ( $10 \mu\text{Gal}$ ) fanden zunächst im Rahmen des Teilprojektes C1 des Bonner Sonderforschungsbereiches (SFB) 350 *Wechselwirkung kontinentaler Stoffsysteme und ihre Modellierung* statt (KEYSERS, 2001). Bei den gravimetrischen Messungen zeigte sich eine signifikante zeitliche Änderung in den Schweredifferenzen zwischen den Messpunkten, die sich auf entgegengesetzten Seiten der Verwerfung befinden. Mit dem Vorliegen der Messdaten von etwas mehr als drei Jahren wurde der saisonale Charakter der Schwerevariationen deutlich. Die Untersuchung wurde auf einen möglichen Zusammenhang mit der Bodenfeuchte ausgedehnt (MÜNCH, 2002): Durch Messungen des scheinbaren spezifischen elektrischen Widerstandes in verschiedenen Tiefen gleichzeitig an zwei Standorten beiderseits des Erftsprunges wurden Informationen über die Bodenfeuchte erhalten und mit den Schweredaten in Bezug gesetzt. Dabei zeigte sich eine Korrelation zwischen dem Widerstandsverhältnis und den Schweredifferenzen beiderseits der Verwerfung, d. h. sowohl bei dem Verhältnis der Widerstände als auch bei den Schweredifferenzen wurde ein Jahresgang gefunden, und beide weisen eine zeitliche Übereinstimmung auf. In einem zwei-

ten Schwere-Messnetz an der Rurrandverwerfung (auf dem Gelände der Forschungszentrum Jülich GmbH) wurden keine signifikanten jahreszeitlichen Schweredifferenz-Änderungen beobachtet. Eine Ursache beim Messgerät konnte somit weitgehend ausgeschlossen werden. Dem gleichen Zweck dienten u. a. die Spindelkalibration in vier- und die Bestimmung des Minimums der Neigungsempfindlichkeit des Gravimeters in achtwöchigem Rhythmus. Die Messungen wurden durch Modellrechnungen auf Grundlage von Grundwasserstandsänderungen, Niederschlägen und Bodenfeuchte nachvollzogen. Es zeigten sich gewisse Übereinstimmungen zwischen den berechneten und den gemessenen Werten (soweit vergleichbar), aber eine ausreichende Erklärung kann von den Modellen nicht gegeben werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Modelle teilweise für andersartige Szenarien entwickelt wurden und daher nur eingeschränkt auf diesen Fall übertragbar sind.

### Literatur

KEYSERS, C. J. (2001): Erfassung von Schwereänderungen in zwei lokalen Netzen in der Niederrheinischen Bucht von 1998 bis 2000. Dissertation, Math.-Nat. Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Shaker-Verlag, Aachen 2001.

MÜNCH, H.-M. (2002): Untersuchung von zeitlichen Schwereänderungen an einer Verwerfung in der Niederrheinischen Bucht und ihrer möglichen Ursachen, 2. Aufl., Bonn. 1. Aufl. Diplomarbeit am Physikalischen Institut und Institut für Geologie/Paläontologie, Rheinische

Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

**Weitere Informationen:**

MÜNCH (2002) & Karten & Stationsbeschreibungen & Informationen zum LCR Gravimeter G-1029 (252 Seten). Grin Verlag für akademische Texte GbR, München 2006:

<http://www.hausarbeiten.de/faecher/vorschau/47916.html?partnerid=26470>

**Zugehörigkeiten der Mitautoren:**

H. Vereecken (Jülich/Agrosphäre (ICG-4), Forschungszentrum Jülich GmbH)

H.-J. Kümpel (Hannover/Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben, und Bonn/Angewandte Geophysik, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn)



Corinna Kroner , Adelheid Weise , Thomas Jahr (Institut für Geowissenschaften, FSU-Jena)

## Geodynamische Signale in der Schwere

Email: thomas.jahr@uni-jena.de

Registrierungen mit Gravimetern liefern einen wichtigen Beitrag zur Erforschung der Dynamik der Erde. Supraleitende Gravimeter (SG) bieten die notwendige Langzeitstabilität sowie niedrige Rauschniveaus. Damit sind Arbeiten zu sehr kleinen Signalen von wenigen  $nm/s^2$  ( $10nm/s^2 = 1\mu Gal$ ) im Zeitbereich und Zehntel  $nm/s^2$  im Frequenzbereich nicht nur im kurzperiodischen sondern auch für Perioden  $>$  einige Tage möglich. Anhand von Daten weltweit verteilter supraleitender Gravimeter im GGP-Projekt (Global Geodynamic Project) können verschiedene Aspekte sehr kleiner Schweresignale untersucht werden.

Ein zentrales Thema umfasst die Untersuchung zu den Translationsschwingungen des inneren Erdkerns (Slichter-Moden) im Periodenbereich 3...8h. Aufgrund der sehr kleinen zu erwartenden Signale bietet sich die Stapelung von Daten an, bei der bislang vorwiegend auf lange Zeitreihen gesetzt wurde. Bisher konnten diese Signale allerdings nicht nachgewiesen werden. Falls die Translationsschwingungen des Erdkerns durch starke Erdbeben ausgelöst oder erneut angeregt werden, müssten diese unmittelbar nach einem großen Beben die größten Amplituden zeigen. Bei dem Sumatra-Andamanen-Erdbeben vom 26.12.2004 handelt es sich um eines der stärksten registrierten Beben ( $M_w = 9$ ), bei dem besonders hohe Energie in Richtung des Erdkerns abgestrahlt wurde – ein Hinweis auf die mögliche Anregung der Slichter-Moden. Für ein Beben dieser Stärke werden Signalamplituden der Moden um  $1nGal$  erwartet.

Zeitreihen ausgewählter Stationen höchster Datenqualität von 37 bzw. 65 Tagen nach dem Beben werden mittels Produktspektren analysiert. Die identische Analyse wird für Schweredaten der selben Stationen für einen Vergleichszeitraum gleicher Länge im Sommer 2002, unter meteorologisch stabileren Bedingungen, durchgeführt, denn die sich ergebenden Signale sind kaum den theoretisch berechneten Frequenzen zu zuordnen.

Ein weiterer Aspekt ist der mögliche nicht-hydrologische Zusammenhang zwischen großen Erdbeben und permanenter Schwereänderung  $< 10nm/s^2$ . Nach coseismischen Schwerevariationen in den Schweredaten von drei SGs induziert durch das Tokachioki Erdbeben im September 2003 in Japan ( $M_w = 8$ ) soll die Möglichkeit dieses Effektes näher untersucht werden. Basierend auf Herdflächenlösungen von Erdbeben werden die Variationen des Schwerefeldes durch Massenverlagerung und vertikale Deformation modelliert (Wang et al., 2005). Die Größenordnung der publizierten Schwerevariation kann verifiziert werden. Ist dieses Phänomen in Europa, mit einer hohen Dichte von SG-Stationen, mit mehreren Instrumenten zu beobachten? Modellrechnungen für einige europäische Beben geben Hinweise, ob und wo Erdbeben induzierte Schwerevariationen in Europa messbar wären.

H. Richard Schulz (Dr. Schulz Angewandte Gravimetrie) , Karin U. Kessler-Schulz

## Verbesserung der Geländekorrektur beim Einsatz der Mikrogravimetrie

Email: [office@angewandte-gravimetrie.de](mailto:office@angewandte-gravimetrie.de)

Die Geländekorrektur spielt bei der Auswertung von mikrogravimetrischen Messungen eine wichtige Rolle. Es wird anhand einzelner Schritte dargestellt wie die Verbesserung des Geländemodells zu aussagekräftigeren Ergebnissen führt.

Durch die exaktere Angleichung des Modells (tetragonale Säulen) an das bestehende Gelände kann zunächst eine Verbesserung der Geländekorrektur erreicht werden. Die Größe der Säulengrundfläche kann bis auf  $1m^2$  herabgesetzt werden.

In einem weiteren Schritt wird die Dichte der Säulen variabel gestaltet. Das heißt, jede Säule erhält die im Untergrund des Geländes anstehende Dichte. Diese variable Dichte des Geländemodells ist besonders bei mikrogravimetrischen Fragestellungen im Grenzbereich Kristallin zu Sedimentgebirge unabdingbar, um noch verlässliche Aussagen über den nahen Untergrund treffen zu können.

Die Schritte von den verschiedenen Grunddaten (geologische Karte, Topographie und Lithologie) zum Geländemodell als Grundlage der Berechnungen werden mit Hilfe einer 3D-Visualisierung dargestellt.

Das Maß der Verbesserung der Geländekorrektur wird anhand der Rechenergebnisse mit Einheitsdichte und der Rechenergebnisse mit angepasster Dichte dargestellt. Dabei ist in beiden Fällen die Topographie in gleicher Weise bereits optimal angepasst. Es zeigen sich je nach Lithologie und Morphologie erhebliche Unterschiede in der Differenz der berechneten Schwerewirkung des Geländes.

Die Berechnung der Geländekorrektur mit

unterschiedlicher Dichte ist erprobt bis zu einer Anzahl von 36 Millionen Einzelkörper mit der jeweiligen angepassten Dichte.

Zuzana Alasonati Tasarova (Institut für Geowissenschaften, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel) ,  
Hans-Jürgen Götze , Miroslav Bielik

## **Gravity Field Analysis of Western Carpathians and a preliminary Three-dimensional Density Modelling based on the CELEBRATION Seismic Experiment.**

Email: [tasarova@geophysik.uni-kiel.de](mailto:tasarova@geophysik.uni-kiel.de)

Due to a complicated tectonic evolution and a complex lithospheric structure, the region of Central Europe has been a subject to numerous geological and geophysical experiments already in the past. Recently, many refraction seismic experiments, such as POLONAISE 97, CELEBRATION 2000 followed by the ALP 2002, SUDETES 2003 and BOHEMIA teleseismic experiment, have been conducted here. The Carpathian Mountains and the Pannonian Basin, belonging to the youngest features in Central Europe, are the result of Mesozoic/Cenozoic plate interactions during the convergence of the European and African Plates (e.g. Kováč 2000, Guterch et al., 2003, and references therein). Two-dimensional (2-D) models of the Carpatho-Pannonian area were developed based on the integrated modelling of the surface heat flow, gravity, geoid and topography data (Dérerová et al., 2006). Additionally, three-dimensional (3-D) models were constructed for the area of Poland (Grabowska et al., 1998) and Pannonian Basin (Szafián and Horváth, 2006). However, a model focusing on the Western Carpathians, but including partly also their surrounding regions, the Pannonian Basin, Eastern Alps, Bohemian Massif and European Platform, has not yet been constructed. Therefore, our aim is to develop such a 3-D model, combining all the available information based on the older and more recent geological and geophysical results, most notably the data from the CELEBRATION 2000 (Central European Lithospheric Ex-

periment Based on Refraction, 2000) refraction experiment. For the simultaneous 3-D forward modelling of the Bouguer gravity and magnetic anomalies, the Interactive Gravity and Magnetic Application System (IGMAS) (e.g. Götze, 1976, Schmidt and Götze, 1999) is being applied. The recent CELEBRATION 2000 seismic results along profiles CEL1, CEL2, CEL3, CEL4, CEL5 and CEL9 (Sroda et al., 2006; Malinowski et al., 2005; Janik et al., 2005; Grad et al., 2005; Hrubcová et al., 2005) supplement the results from previous works and 2-D modelling (Bielik et al., 2004 and references therein), taken as initial data for the 3-D modelling. The previous works include information about the Moho depth, depth of the lithosphere/asthenosphere boundary, and additionally also estimates on the thickness of the sedimentary infill and its gravity effect in the Carpatho-Pannonian region (Makarenko et al., 2002; Bielik et al., 2005). All of these results enable us to identify different components (regional and local) of the gravity field, which is essential for the 3-D modelling in order to localize the lithospheric density inhomogeneities.

G. Reitmayr (BGR), G. Casassa, C. Iturrieta, A. Wendt, J. Wendt, R. Zamora

## Gravimetrie auf einer 1100 km langen Schlitten-Traversal von Patriot Hills zum Südpol

Email: reitmayr@bgr.de

Das Centro de Estudios Científicos (CECS) in Valdivia führte im Dezember 2004 in Zusammenarbeit mit der chilenischen Armee eine Schlitten-Traversal in der Antarktis durch. Dies sollte ein Beitrag zum International Trans-Antarctic Scientific Expedition (ITASE) Programm sein. Ausgangspunkt war die in der Westantarktis gelegene chilenische Sommer-Station Patriot Hills; die Traversal führte zum mehr als 1100 km entfernten Südpol und wieder zurück. Mit einem schweren Raupenfahrzeug wurden drei große Schlitten mit Geräte- und Treibstoffbehältern sowie den Wohn- und Arbeitscontainern für die zwölf Expeditionsteilnehmer gezogen. Neben glaziologischen Untersuchungen wurden dabei gravimetrische und die dafür nötigen Eisdickenradar- und kinematischen GPS-Messungen durchgeführt. Die Schwere wurde im Abstand von 10 km mit einem konventionellen LaCoste & Romberg G-Gravimeter vermessen. Die Radarsignale mit einer Signalfrequenz von 150 MHz wurden quasi-kontinuierlich (jede Sekunde) registriert, ebenso die GPS-Signale (alle fünf Sekunden), die mit kinematischen Zweifrequenz-Empfängern im Schlittenfahrzeug und an Basisstationen aufgezeichnet wurden. Ein nicht unerhebliches Problem für die Korrektur der gravimetrischen Daten ergibt sich darin, dass die in der Gravimetrie zur Entfernung der Instrumentendrift üblichen Schleifenmessungen in mehr oder weniger kurzen Abständen nicht möglich waren. Erst nach der Rückkehr nach 48 Tagen konnte die Ausgangsbasis in Patriot Hills wieder aufgesucht und die Änderung des Messwertes mit 18.75

mGal bestimmt werden. Am Südpol gibt es allerdings ebenfalls eine gravimetrische Basis mit bekannter Schwere. So konnte wenigstens die Drift während der beiden Expeditionslegs getrennt bestimmt werden. Alle ein bis zwei Tage hielt der Schlittenzug an, um Schnee- und Firnproben mit Hilfe von Flachbohrungen zu gewinnen. Diese 4 bis 30 Stunden langen Standzeiten konnten genutzt werden, um jeweils die Drift des Instruments während dieser kurzen Zeiten zu bestimmen. Es zeigte sich deutlich, dass die Driftrate keineswegs zeitlich konstant ist: auf dem Hinweg zum Pol nimmt sie  $\pm$  kontinuierlich zu und auf dem Rückweg wieder ab – eine Beobachtung, für die wir zunächst keine Erklärung haben. Diesen, in erster Näherung linearen Driftraten entspricht jeweils eine Drift nach einer parabolischen Funktion. Auf diese Weise konnte die Instrumentendrift befriedigend rekonstruiert werden. Außer der üblichen Breiten- und Freiluft-Korrektur wurde mit Hilfe einer Modellrechnung eine zwei-dimensionale Bouguer- und Eisdicken-Korrektur durchgeführt (auch komplette Bouguer-Korrektur CBC genannt): die Eisschicht wird in eine Vielzahl dünner vertikale Prismen mit rechteckigem Querschnitt zerlegt; ihre Oberkanten sind durch die Oberflächen-Topographie festgelegt und ihre Unterkanten durch die Subeis-Topographie. Die Massen über dem Nullniveau werden abgeschnitten und die noch verbleibenden eisbedeckten Gebiete mit Differenzmassen aufgefüllt. Die Freiluftschwere wird sehr dominiert von kurzwelligen Anomalien, die von den starken Änderungen der Eismächtigkeiten verur-

sacht werden. Nach der CBC sind diese weitgehend verschwunden und man sieht im Wesentlichen die Abnahme der Schwere zum Zentrum des Kontinents hin auf etwa -130 mGal. Bei der anschließenden isostatischen Korrektur wird aus den, nach Süden hin zunehmenden Auflasten an der Oberfläche die Verdickung der Erdkruste nach unten hin und deren Schwerewirkung berechnet. Die schließlich sich ergebende residuale Schwere oszilliert bei den ersten 700 km des Profils um den Wert Null. Eindeutige Anomalien, die dort auf größere Inhomogenitäten im Untergrund hindeuten könnten, sind nicht zu erkennen. Im letzten Drittel des Profils bis zum Südpol ist jedoch die Schwere mit etwa 50-60 mGal deutlich erhöht. Interessanterweise findet bei Profil-Kilometer 700 offensichtlich der Übergang von der Westantarktis zum Ostantarktischen Kraton statt. Die Subeis-Topographie liegt in den ersten zwei Dritteln des Profils - dem Bereich der Westantarktis - generell unter dem heutigen Meeresspiegel: im Mittel bei -700 bis -800 m mit einem Minimum von knapp -1500 m. Ab km 700 - in der Ostantarktis - nimmt die Subeis-Topographie mit wenigen hundert m auch positive Werte an, weist aber auch einige Bereiche geringfügig unter Null auf. Die erhöhte Schwere über diesem Bereich der Ostantarktis könnte z.B. auf eine höhere Dichte in der Kruste hindeuten. Modellrechnungen dazu sind jedoch noch nicht abgeschlossen.

---

## **2.14 MA - Magnetik**

Hans Albert Roeser (Hannover)

## Geomagnetische Beobachtungen an einer Blitzeinschlagstelle

Email: hansroeser@aol.com

Blitzeinschläge haben unterhalb der Erdoberfläche meist nur geringe Auswirkungen. Ein möglicher Effekt ist die "remanente" (bleibende) Magnetisierung von Gesteinen durch das den Blitzstrom begleitende ringförmige Magnetfeld. Diese remanente Magnetisierung kann über viele Jahre erhalten bleiben, obwohl das Magnetfeld des Blitzes nur den Bruchteil einer Sekunde eingewirkt hat. Durch Blitzschlag magnetisierte Gesteine werden häufig an exponierten Stellen, z.B. Berggipfeln, gefunden, viel seltener jedoch in ebenem Gelände. Die hier beschriebene Blitzeinschlagstelle war bei der magnetischen Vermessung eines ziemlich unscheinbaren tertiären Vulkans bei Göttingen an dessen schwach ansteigendem Hang gefunden worden. Bei den Folgeuntersuchungen wurde das Magnetfeld über der Blitzeinschlagstelle zwei Mal sehr detailliert vermessen. Danach wurden bis in eine Tiefe von fast 3 m Gesteinsproben entnommen, die die für eine Blitzschlag erwartete ringförmige remanente Magnetisierung durch das Magnetfeld des Blitzes zeigen. Die remanente Magnetisierung nimmt mit zunehmender Entfernung von der Blitzbahn ab, in 5 m Entfernung beträgt sie nur noch ein Zehntel der Maximalwerte. Ihre Höhe entspricht der Magnetisierung durch das Magnetfeld eines Blitzstroms von 250 000 A. Aus den gemessenen Magnetisierungen wurde berechnet, wie das Magnetfeld über der Einschlagstelle aussehen müßte. Auf den ersten Blick überraschend ist der Befund, daß die remanente Magnetisierung durch einen genau senkrecht einschlagenden Blitz in homogenem Gestein zu keiner Anomalie über der Einschlagstelle füh-

ren würde. Das ist ein genaues Analogon zu einer Toroidspule, die ebenfalls im Außenraum kein Magnetfeld zeigt. Im hier untersuchten Fall betrug die Neigung des Blitzstroms im Boden ca. 15° gegen die Lotrichtung. Das aus den Magnetisierungen berechnete Feld stimmt sehr gut mit dem gemessenen Feld überein. Während der Vermessung hatte ein weiterer Blitz an exakt der gleichen Stelle eingeschlagen. Das führte zu einer Verstärkung der Anomalie um ca. 10 %, ohne daß sich die Form wesentlich änderte. Ein Grund dafür, daß mindestens zwei Mal Blitze an dieser nicht weiter auffälligen Stelle eingeschlagen haben, konnte nicht gefunden werden. Die umstehenden hohen Buchen weisen keinerlei Blitzschäden auf. Probenuntersuchungen zeigten, daß mehrfache ganz kurzzeitige Gleichfeldaufmagnetisierungen, wie sie mehreren Blitzeinschlägen entsprechen, zu einer Erhöhung der remanenten Magnetisierung führen, wenn ein hinreichend großer Zeitraum, z.B. einige Wochen, dazwischen liegt. Die oben genannte Zahl 250 000 A kann also weit höher sein als der tatsächliche Strom bei einem der möglicherweise zahlreichen Blitze, die in ihrer Summe zu der Anomalie geführt haben.

Angelika Ullmann (TU Bergakademie Freiberg) , Ralph-Uwe Börner , Rolf Käßler , Klaus Spitzer

## **2D- und 3D-Modellierung magnetischer Anomalien mit Finiten Elementen unter Berücksichtigung induzierter und remanenter Magnetisierung**

Email: [Angelika.Ullmann@student.tu-freiberg.de](mailto:Angelika.Ullmann@student.tu-freiberg.de)

Klassische Ansätze zur Modellierung magnetischer Anomalien nutzen analytische Störkörperformeln für einfache Geometrien (Prismen, Zylinder, Polygone, etc.). Für komplexe Geometrien, die aus vielen solcher Körper zusammengesetzt sind, ist dabei der Rechen- und Zeitaufwand beträchtlich, da im Allgemeinen für jeden Messpunkt über alle Störkörper integriert werden muss. Bei einer großen Anzahl von Messpunkten wird dieses Verfahren daher ineffizient. Die Methode der Finiten Elemente bietet eine flexible Möglichkeit, die magnetische Antwort für beliebig viele Messpunkte durch die Lösung der zugrunde liegenden Poisson-Gleichung im gesamten Modellgebiet zu approximieren. Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Untersuchung von Rechen- und Zeitaufwand sowie im Besonderen der Genauigkeit dieser Methode. Weitere Vorteile der Methode der Finiten Elemente sind die Einfachheit der Implementierung induzierter und remanenter Magnetisierung sowie die Möglichkeit zur Erstellung beliebig komplexer Geometrien.

Im Rahmen der Genauigkeitsstudie werden in zwei und drei Dimensionen analytisch berechnete und durch numerische Simulation erzeugte Lösungen für einfache Störkörper miteinander verglichen. Als zweidimensionale Störkörper werden horizontaler Kreiszyylinder und horizontales rechtwinkliges Prisma betrachtet. Mit adaptiver Gitterverfeinerung erreicht man bei einer Anzahl von 27745 Freiheitsgraden eine Genauigkeit von etwa 1,5% nach 6s Rechenzeit auf einem 3,4GHz Pentium D Prozessor. In Analogie dazu werden im

dreidimensionalen Fall Kugel und Quader untersucht. Mit 43877 Freiheitsgraden wird dabei eine Genauigkeit von etwa 2% nach 475s erreicht.

Abschließend wird die Simulationsmethode auf reale Messdaten angewandt. Das erste Beispiel beinhaltet eine Vorwärtsmodellierung für eine zweidimensionale neolithische Grabenstruktur bei Riesa. Das zweite Beispiel behandelt einen dreidimensionalen Körper einer basaltischen Intrusion in der Lausitz, der einen Anteil remanenter Magnetisierung aufweist.



Volkmar Schmidt (Institut für Geophysik, ETH Zürich) , Ann M. Hirt , Michael Otto , Bernd Leiss

## **Magnetic anisotropy of deformed carbonate rocks as an indicator of deformation processes**

Email: [schmidt@mag.ig.erdw.ethz.ch](mailto:schmidt@mag.ig.erdw.ethz.ch)

Deformation of carbonate rocks leads to a crystallographic preferred orientation (CPO) of the calcite crystals. The CPO of the crystallographic c-axis is often used to characterize deformation processes. Since the physical properties of calcite are strongly anisotropic and relate to the crystallographic directions, the CPO governs the anisotropy of the physical properties of the whole rock. This is observed, for example with the seismic velocity, thermal dilatation and magnetic susceptibility. Since the magnetic anisotropy can be measured easily, it could be used as a practical tool to characterize deformation processes and to predict other anisotropic properties of carbonate rocks. However, the anisotropy due to calcite is often overprinted by stronger contributions from other minerals. Therefore the use of AMS as a deformation marker in impure carbonate rocks is ambiguous. To gain a better understanding, how the anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) reflects the CPO, we have investigated marbles from the Alpi Apuane, Italy. The CPO has been determined by neutron diffraction at the Forschungszentrum Jülich. This method allows for measurement of large sample volumes, which gives more representative results than X-ray diffraction. The rocks show a distinctive CPO from deformation with a stretched c-axis concentration. The AMS due to the diamagnetic calcite is relatively weak and may be overprinted by contributions from paramagnetic and ferromagnetic minerals. By measurements on the high-field torque magnetometer at the Laboratory of Natural Magnetism (LNM) at the ETH Zurich

it has been possible to isolate the diamagnetic AMS. The instrument has a high sensitivity and the contributions due to paramagnetic and ferromagnetic minerals can be separated using strong magnetic fields and measurements at low temperature. The measured AMS has been compared to the AMS modelled from the CPO. The measured and the modelled AMS agree very well in magnitude and orientation. These results show that AMS is a valid tool to characterize the CPO of carbonate rocks. The magnetic anisotropy may be used to indicate deformation processes and predict other anisotropic properties.

---

## **2.15 ME - Erdmagnetismus**

Jon Rotvig (Institut fuer Geophysik, ETH, Zuerich)

## Multiple jets in rapidly rotating thermal convection

Email: [rotvig@erdw.ethz.ch](mailto:rotvig@erdw.ethz.ch)

We study thermal convection in a rapidly rotating spherical shell heated at the inner boundary. This problem has several applications to planetary science since most planets in the solar system have fast rotating liquid shells in their interior. The Coriolis force adds significantly to the numerical costs of the problem. In fact, the rotation rate that applies to most planets is far too high to be modeled by computer simulations. However, the current computer strength is sufficient to study asymptotic behaviours of the problem. We focus on the generation of zonal flow, i.e., the axisymmetric part of the azimuthal flow with respect to the rotation axis. This flow component results, e.g., in the observed bands on the surface of Jupiter and Saturn, and it generates toroidal magnetic field in planetary dynamos. We demonstrate that the mechanical boundary conditions are one of the key parameters in this problem. Imposing non-slip boundary conditions results in a new type of zonal flow in the numerically expensive limit of high rotation rate and moderate thermal driving. This solution has several alternating jets outside the TC (tangent cylinder, i.e., the cylinder along the rotation axis that touches the inner boundary), and the jets in the centre region are drifting towards the TC. To reduce the numerical costs, a 2D model of the region outside the TC has been developed and successfully compared to the 3D model. The 2D model allows us to increase the thermal driving beyond the 3D limit. It is shown how the jet drift turns into amplitude fluctuations of a few steady jets at high thermal driving. In this limit the reduced Ekman layer effects result in strong zonal flows which resemble so-

lutions obtained with stress-free boundaries. In the 3D model we finally demonstrate that the increased shear by the multiple jets also increases the omega-effect in kinematic dynamos, hence producing a relatively stronger toroidal magnetic field. This effect may have implications for reversing planetary dynamos.

Longqing Qiu (IBN-2, Forschungszentrum Juelich)

## **HTS-SQUID Based Earth Magnetic Field NMR**

Email: [l.qiu@fz-juelich.de](mailto:l.qiu@fz-juelich.de)

The Earth's magnetic field, though weak, is appealing for NMR applications because it is highly homogeneous, globally available and free. Instead of a conventional Faraday detector, we use a high transition temperature (HTS) radio frequency (rf) superconducting quantum interference device (SQUID) to measure NMR signals in order to show the applicability of this sensor in Earth field NMR. The SQUID used in our work is a so-called substrate resonator version. The SQUID magnetometer achieved a field sensitivity of about 40 fT/Hz. The experiment was operated in a forest 500 m away from buildings; and the instruments were arranged using the earth magnetic field as detection field. A pulsed pre-polarizing field of about 2 mT was applied during the measurement. A 10 ml water sample was tested. The Larmor frequency was measured as 2061 Hz and the SNR was about 6.

---

## **2.16 MG - Marine Geophysik**

Stefan Ladage (BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) , Dieter Franke , Christoph Gaedicke , Kai Berglar , Ingo Heyde , David Tappin , Yusuf Djajadihardja

## **Structural Architecture of the Northern Sumatra Accretionary Complex – Results from the “SeaCause” Marine Geophysical Survey with R/V SONNE**

Email: stefan.ladage@bgr.de

The rupture areas of the two giant Sumatra earthquakes were in the scope of a geophysical experiment conducted in early 2006 by RV Sonne (SO186 - SeaCause Cruise). The investigated area extends from northern Aceh to south off Nias, where the Indo-Australian Plate subducts highly obliquely beneath the Sumatra margin. Methods applied comprise acquisition of 5358 km multi-channel seismic profiles, gravity, magnetic, and high resolution swath bathymetry. In this presentation we focus on the Northern Sumatra Margin – the initial rupture area of the Dec. 26th, 2004 earthquake.

The accretionary complex off northern Sumatra resembles a unique segment along the Sunda trench. With 150 km width it is extraordinarily broad and builds a curved 400 km long seaward protruding salient along the Sunda trench. It forms a plateau in about 1500 m waterdepth lacking a prominent outer arc high. The frontal accretionary prism is characterized by an assemblage of landward and – notably – seaward dipping thrusts. Along the landward dipping thrusts underthrusting of incoming sediments occurs. In contrast, the large seaward dipping thrusts act as ramps where the incoming sediment is actively being lifted up and overthrust. This sequence of over- and underthrusting over oppositely dipping ramps leads to emplacement of subhorizontal thrust sheets. Overall the incoming trench sediments, some 3.0 s (TWT) thick at the deformation front, are detached at a low level – some 100 ms – above the top oceanic

crust reflection.

We develop a structural model for the accretionary prism by introducing a layer of duplexes beneath the thrust sheets, thus effectively doubling the thickness of the incoming sediment pile. Shortening can therefore be estimated to be around 50%. Deformation is concentrated at the frontal slope. Seagoing gravity measurements and 2D gravity modelling support this structural model. Overall our model explains the extraordinary broad accretionary prism of about 150 km off Banda Aceh as well as its plateau like shape.

Sebastian Krastel (Universität Bremen) , Michelle Wagner-Friedrichs , Frank Strozyk , Thomas Frederichs , Till Hanebuth

## **Sedimentstrukturen auf dem Galizischen Schelf (NW-Spanien): Erste Ergebnisse der Poseidon-Fahrt Pos342**

Email: [skrastel@uni-bremen.de](mailto:skrastel@uni-bremen.de)

Das Teilprojekt ‚Sediment Partitioning and Transformation on the Shelf‘ des DFG-Forschungszentrums „Ozeanränder“ (RCOM) untersucht in einem multi-disziplinären Ansatz die sedimentären Prozesse in Schelf-Systemen, die i) zur Separation von individuellen Materialgruppen und ii) die zu den unterschiedlichen temporären oder langfristigen Verweilzeiten dieser Gruppen auf dem Schelf führen. Im Rahmen dieser Arbeiten wurden während der Poseidon-Fahrt P342 im Herbst 2006 Boomer-Daten und hochauflösende mehrkanal-seismische Messungen auf dem Galizischen Schelf vor NW-Spanien durchgeführt. Die akustischen Daten bildeten die Basis für die Beprobung mittels Großkastengreifer, Vibrolot und Schwerelot. Die seismische Daten zeigen, dass der Aufbau des Schelfs in drei Zonen unterteilt werden kann. Im Norden befinden sich mächtige Vorschüttungssedimente oberhalb einer Erosionsdiskordanz. Im zentralen Arbeitsgebiet beobachten wir eine abnehmende Sedimentmächtigkeit am Außenschelf oberhalb der bereits erwähnten Erosionsdiskordanz. Die Sedimente oberhalb der Erosionsdiskordanz scheinen teils umgelagert worden zu sein, zeigen aber keine typischen Vorschüttungsstrukturen. Im südlichen Teil nimmt die Sedimentmächtigkeit oberhalb der Erosionsdiskordanz weiter ab. Zusätzlich verhindert eine Barriere auf dem Außenschelf den Export von Sedimenten auf den Kontinentalhang. Die Sedimente unterhalb der Erosionsdiskordanz stammen vermutlich aus der Kreide. Verwerfungen in die-

sen Sedimenten zeugen von einer ausgeprägten Segmentierung der alten Sedimente. Später abgelagerte Sedimente müssen größtenteils erodiert worden sein, so dass der galizische Schelf in Zeiten von Meeresspiegeltiefständen immer wieder frei geräumt wurde. Die Boomer-Daten offenbaren extrem variable Ablagerungsbedingungen im Holozän. Geologische Proben an einer Vielzahl von Kernstationen zeigen alte Küstenlinien, Paläoböden, und mächtige Muschel-lagen. Die weiterführende Analyse aller Daten wird es ermöglichen, die variable Sedimentationsgeschichte des galizischen Schelfs zu rekonstruieren.

Kai Berglar (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)) , Christoph Gaedicke , Rüdiger Lutz , Stefan Ladage , Sönke Neben

## Entwicklung der Forearc-Becken Nordsumatras

Email: kai.berglar@bgr.de

Die Forearc-Becken vor der Westküste Nordsumatras sind Teil des Sundabogens, entlang dem sich das tektonische Regime von frontaler Subduktion vor Java zu schiefer Subduktion vor Sumatra ändert. Die schiefe Subduktion führt zur Ausbildung von strike-slip Störungen wie der Sumatra-, Mentawai- und West Andaman-Störung, welche die Entwicklung der Forearc-Becken beeinflussen. Vor den Becken werden mit der Investigator Fracture Zone und dem Wharton Ridge große Rückenstrukturen der ozeanischen Kruste subduziert.

Während zweier Forschungsfahrten mit FS Sonne im Januar/Februar und August 2006 wurden bathymetrische und reflexionsseismische Daten vor Nordwestsumatra aufgenommen, deren Auswertung die neogene Entwicklung der einzelnen Beckenbereiche zeigt: Das Aceh-Becken ist das nördlichste Forearc-Becken Sumatras. Es entwickelte sich in zwei Hauptphasen, welche durch eine Verlagerung des Ablagerungszentrums nach Westen gekennzeichnet sind. Das südlich anschließende Simeulue-Becken zeigt eine komplexere Entwicklung: Auf großräumigen Diskordanzen wachsen im südlichen Teilbecken Riffkomplexe, während im nördlichen Teilbecken chaotische seismische Fazies Massenumlagerungen anzeigen. Nach Süden trennen die Banyak Inseln das langgestreckte schmale Nias-Becken ab. Seine Subsidenzgeschichte zeigt ebenfalls eine unterschiedliche Entwicklung im nördlichen und südlichen Teil und lässt sich in vier Hauptphasen einteilen.

Die zeitlich-räumliche Entwicklung der Becken weist auf eine tektonische Kontrolle

hin, die zeitweise durch regionale Ereignisse wie die Heraushebung des Festlandes Sumatras und globale Meeresspiegelschwankungen überlagert wird. Die identifizierten tektonischen Faktoren sind: (1) Strike-slip Störungen, welche die Forearc-Becken als Zonen starker Subsidenz nach Westen vom Outer-Arc High trennen; (2) senkrecht zur Subduktionszone verlaufende Hebungsgebiete (Banyak- und Batu-Inselgruppen), welche die Becken voneinander abgrenzen; (3) große Rückenstrukturen der Ozeanischen Kruste, die subduziert werden. Es wird diskutiert, dass sie ursächlich für eine Segmentierung der ozeanischen Kruste sind, die sich im Aufbau der Becken widerspiegelt.



Martin Engels (BGR) , Udo Barckhausen , Christian Müller , SINDBAD Working Group

## **Erste Ergebnisse der marinen Magnetik vor Indonesien im Übergang vom Sunda- zum Banda-Bogen: Anomalien und methodische Untersuchungen**

Email: [Martin.Engels@bgr.de](mailto:Martin.Engels@bgr.de)

Im Rahmen des Forschungsprojektes SINDBAD führte die BGR marin-geophysikalische Untersuchungen mit dem Forschungsschiff FS SONNE vom 9.10.-9.11.2006 (SO-190, Leg 1) im indischen Ozean vor Indonesien durch. Dabei zeichneten Mehrkanalseismik, Magnetik, Gravimetrie und Bathymetrie ca. 5000 Profilkilometer hochwertige Daten auf. Entlang des Sunda-Banda-Bogens wird die Indo-Australische Platte unter die Eurasische Platte subduziert, wobei im Untersuchungsgebiet der Übergang von Ozean/Inselbogen-Subduktion des Sunda-Bogens zur Kontinent/Inselbogen-Kollision des Banda-Bogens erfolgt. Das Untersuchungsziel ist die tektonische Variation dieser Subduktionszone längs ihrer Ausdehnung, die Beziehung zwischen der Variabilität der Unterplatte und der tektonischen Evolution der Oberplatte. Die Segmentierung der eintragenden ozeanischen Platte erschließt insbesondere die Magnetik.

Das geschleppte Magnetometerarray der BGR besteht aus vier Sonden: i) zwei Overhauser Magnetometer (SeaSpy System von Marine Magnetics), die als longitudinales Gradiometer operieren und ii) zwei orientierte Vektormagnetometer (Magson fluxgates). Das Gradiometer erlaubt durch die Integration der Totalfeld-differenzen die Rekonstruktion der Anomalien frei von externen zeitlichen Variationen. Die Vektormagnetometer eröffnen mit den zusätzlichen Komponenteninformationen weitere Analysemethoden im Orts- und Wellenzahlbereich. Im Messgebiet befindet sich mit der Argo-Tiefseeebene eines der ältesten Überbleibsel

ozeanischer Kruste des ehemaligen Thetis-Ozeans. Die magnetischen Anomalien der Kruste jurassischen und kretazischen Alters wurden kürzlich von Heine et al. (2004) aufgrund der Neubearbeitung älterer Daten neu interpretiert. Mit den Magnetikprofilen dieser Fahrt, die sich bis zu 250 km weit auf die ozeanische Kruste erstreckte, konnte die neue Interpretation im wesentlichen bestätigt, an einigen Stellen korrigiert und landwärts fortgesetzt werden.

Ferner stellen wir einen Vergleich von geschleppten mit schiffsfesten Magnetometerdaten vor: In einer Versuchsanordnung operierte zeitweise ein Vektormagnetometer auf dem Peildeck zeitgleich mit dem geschleppten Magnetometerarray aus den drei verbleibenden Sonden. Das beträchtliche Störfeld des Schiffskörpers (permanente und induzierte Magnetisierung, induzierte Ströme) muss für das schiffsfeste Fluxgate kompensiert werden. Dazu nutzen wir lediglich die Wendekreise an Profilen für eine klassische Skalarkalibrierung gegen die Overhauser Totalfeldreferenz. Erstaunlicherweise lassen sich somit auch Anomalien von 100 nT Amplitude identifizieren.

Katrin Huhn (DFG Forschungszentrum Ozeanränder) , Achim Kopf , Norbert Kaul , Ingo Kock , Sebastian Krastel , Silvia Stegmann , Frank Strozyk , P336 Working group

## **POSEIDON cruise P336 to the Cretan Sea, north of Crete – an overview about the first results**

Email: khuhn@uni-bremen.de

The Cretan Sea, north of the island of Crete represents the northernmost portion of the forearc region of the Hellenic subduction zone. The island Crete acts as a backstop to the accreted strata of the Mediterranean Ridge complex which is up to 200 km wide and 1500 km long. The geodynamic situation is rather complex, because Crete is extending in both E-W and N-S-direction and has been exhumed about 20 km to its present day's position. As a result a lot of microseismicity, neotectonic movements, and mass wasting could be observed. E.g. landsliding occurs along the steep to moderately inclined slopes north as well as south of the island. During the research cruise P336 with R/V Poseidon in spring 2006, an area of approximately 2450 km<sup>2</sup> along the NE continental margin offshore Crete was surveyed as part of a multi-methodological approach. A dense bathymetric, reflection seismic, and 3.5 kHz sediment echosound grid was recorded. In addition pore pressure and heat flow in-situ data were measured and gravity cores were collected. On the basis of these data numerous mass wasting events at different scales as well as compressive structures were identified close by. Two large slide complexes were monitored as major tectonic features. Both events show a nearly basin-ward SSW-NNE directed transport pathway with a mean extension of 25km perpendicular to the slope. Slide thicknesses of approximately 100m were measured. Slide deposits are characterized by their disturbed, chaotic internal signature and rough surface which can be seen

in the seismic profiles. The slide consists of an upper, acoustically transparent and poor stratified sequence and an underlying, stronger stratified layer. The glide plains are imaged as continuous medium amplitude reflectors. Gravity cores recovered largely hemipelagic silty mud with interbedded layers of volcanic debris, turbidites, and amalgamated clayey to silty muds. This prominent stratigraphy can be used to correlate mass wasting events with significant geohazards. As parts of both headwalls could be correlated with fault zones, we assume earthquakes as the most likely trigger mechanism. As another important feature in this area, a remarkable topographic height could be monitored in 800m water depth at the deeper part of the slope. Here, a 6 km broad elevated area is seen in the centre of this barrier. The elevated part dips to the east and is bounded by a steep eastern flank and a gently dipping western flank. Both flanks are 150m high and seem to coincide with major faults. In the centre of the broad elevated area, a smaller mound-like structure sticks out of the sea floor. On this profile this feature has a diameter of 600m and a height of 75m. In particular, bathymetric data show that this mound is not circular rather it is a curved elongated 'horseshoe-like' geometry. The area beneath the mound-like structure shows an acoustic transparent zone with a diameter similar to the mound like structure. However, internal structure of this structure could not be imaged. Unfortunately, our data give no evidence for active fluid venting. Nevertheless, such a structure suggests up-

ward migration of fluids or gas from depth.

Annemarie Sticher (IFM-Geomar) , Jörg Bialas , Timothy J. Reston

## **ASTERICS (= Geophysikalische Studien nahe der Ascension Transformstörung: Evolution der Rückensegmentation und Krustenstruktur) - Erste Ergebnisse der Weit-Winkel-Refraktionsdaten**

Email: [asticher@ifm-geomar.de](mailto:asticher@ifm-geomar.de)

Ziel der vorgeschlagenen Untersuchungen aus dem Jahr 2004 ist das Gebiet um das System der Ascension Transformstörung (AFZ). Die Ascension Versatzstelle stellt eine doppelte Störung dar, die sich aus zwei parallelen Versätzen/Brüchen (nördliche Ascension Fracture Zone – NAFZ – und südliche Ascension Fracture Zone – SAFZ) in einem kurzen Segmentverbund bildet. Derartige doppelte Versatzsegmente sind eine, besonders im Südatlantik, weit bekannte Eigenart des MAR (Mittelatlantischen Rückens), die jedoch bisher wenig verstanden sind. Südlich der SAFZ können vier Spreizungssegmente identifiziert werden, von denen das Teilstück A-BV 3 Gegenstand dieses Posters ist. Es zeichnet sich durch einen gut erkennbaren Mittel-Rücken aus, der als Ort ausgeprägten Magmatismus angesehen werden kann. Die Struktur des Segmentes A-BV 3 ist durch ein gut ausgebildetes Rückenhoch charakterisiert. Die MBA (Mantel-Bouger-Anomalie) zeigt hier ein ausgeprägtes zentrales Schwere-tief, das durch verdickte Kruste und/oder aufsteigenden Mantel erklärt werden kann. Sollte dem so sein, dann kann durch die Bestimmung der Tiefe und Struktur der Kammer die thermische Struktur des Spreizungssegmentes bestimmt werden.

Die Bathymetrie aus Multibeamdaten zeigt eine Aufwölbung in der Mitte des Untersuchungsgebietes. Um diese Erhebung wurden zwölf OBS/H quadratisch auf fünf Profilen ausgelegt. Das fast 95 km lange Hauptprofil führt dabei in Ost-West-Richtung über das Rückenhoch.

Die ersten Ergebnisse aus den 2D-Modellen belegen eine Aufwölbung des Mantels. Diese kann als Ausdruck der Oberkante einer möglichen Magmenkammer angesehen werden. Während das bathymetrische Profil des Meeresbodens am Rücken eine Erhöhung von bis zu 1200 m aufweist, sind die unteren Schichten der Kruste bis zu 2000 m aufgewölbt. In Ost-West-Richtung ist die Hochlage der unteren Krustenschichtung stark ausgeprägt, nach Norden und Süden fällt sie ab. Die benachbarte Depression ist im Westen nicht so stark ausgeprägt wie im Osten. Die geschätzte Größe der Struktur beträgt in O-W-Richtung 10 –15 km und in N-S-Richtung etwa 10 km, bezogen auf die unterste modellierte Krustenschicht.

Daraus lässt sich schließen, dass an dieser Stelle die MBA durch aufsteigendes Mantelmaterial zu erklären ist.

Katrin Schwalenberg (BGR Hannover) , Carsten Scholl , Ele Willoughby , Nigel Edwards

## **Marine Controlled Source Electromagnetic Experiments for Sediment Characterization**

Email: k.schwalenberg@bgr.de

In the last 5 years marine controlled source electromagnetic experiments (CSEM) have been conducted on the West Coast of Vancouver Island, B.C. to investigate the electrical signature of submarine gas hydrate accumulations using a bottom-towed electric dipole-dipole system. Potential targets of the method are hydrocarbon deposits such as oil, gas and gas hydrates which have a much lower electrical conductivity than seawater which commonly occupies the marine sediment pore space. On the Cascadia Margin off Vancouver Island, gas hydrates have been identified through the occurrence of bottom simulating reflectors (BSR) in several seismic data sets. They have been inferred during ODP leg 146 and directly identified during IODP 311. Of particular interest is a 10km x 5km area which is characterized by a series of seismic blank zones interpreted as cold vents. Pressure coring, LWD and wireline logs into the largest of the vents called "Bullseye" during IODP 311 revealed massive gas hydrates in the upper 40mbsf. Data from 4 profiles show clearly very high resistivity anomalies over the vents which support the presence of massive hydrates within the vents in contrast to a probably moderate to low hydrate concentration outside the vents, even though BSRs are clearly visible. More resistivity anomalies have been detected in Cascadia close to other IODP drill sites. However, the nature of these anomalies is not fully understood, yet, but they have been verified through repeated measurements within a year. In January 2007, the system will be used to explore gas hydrates and gas venting on the Hiku-

rangi Margin on the NE coast of New Zealand. Joint interpretation of CSEM and deep-towed seismic data will enhance the significance of the models derived.

Marcus Fabian (Universität Bremen, Fachbereich Geowissenschaften, Meerestechnik/Sensorik) ,  
Heinrich Villinger

## The Bremen Ocean Bottom Accelerometer -OBA-

Email: [marcus.fabian@uni-bremen.de](mailto:marcus.fabian@uni-bremen.de)

The Bremen Ocean Bottom Accelerometer (OBA) is a new scientific tool to monitor local ocean bottom acceleration in three directions with high resolution in time and amplitude. The instrument has six accelerometers of MEMS-type (micro electro mechanical systems), which have a nominal resolution of  $10^{-5} m/s^2$  and a bandwidth from DC to 300 Hz. As their resolution is in the range of ocean floor background noise and the sensors are of small physical dimensions (27 mm x 27 mm x 16 mm) and have low current-consumption ( $\approx 17$  mA,  $\pm 6.2$  V), they are best suited for long-time autonomous operation in deep sea instruments like the OBA (Fabian & Villinger, in press). A newly designed digitizer continuously samples and filters the acceleration data from all six sensors at 5Hz and writes the data to a CompactFlash card. The power-consumption of the complete system is 996 mW. A 304 D-cell lithium battery pack powers the instrument for more than a year. Maximum operation depth of the OBA is 6000 m.

The OBA will be deployed in autumn of 2007 by means of the new ROV (remotely operated vehicle) 'Kiel 6000' in the Logatchev Hydrothermal Vent field (LHF), 14°N on the Mid-Atlantic Ridge in a depth of 3000 m. Its position will be nearby the OBT (Ocean Bottom Tiltmeter), which was installed in May 2005 by the ROV 'Quest' (Fabian & Heesemann, 2006, Fabian & Villinger, in press) and was recovered and replaced by the ROV 'Jason II' in February 2007 during cruise MSM04/3 of the new German research vessel 'Maria S. Merian'. The OBA will record until January 2009 simultaneously to the

OBT. The 3-axis acceleration data from the OBA will complete long-time data tilt data of the OBT. Both instruments provide data of local seismicity and tilt related to hydrothermal activity and crustal growth. Activity-phases in the LHF like enhanced seismicity or ocean floor deformations will be determined and correlated with the data of co-workers in our research program (temperature, ocean bottom water pressure, test-sequences of local smoker-fluid chemistry and vent-fauna during the visits of the LHF between 2005 and 2009). The long-time data will be used as a proxy for changes in energy flux from the earth's mantle to the ocean and for variations and diversifications in local life cycles.

The OBA is a part of the monitoring system of project LOLEM (Logatchev Longtime Environmental Monitoring) which is supported by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) in the frame of Schwerpunktprogramm 1144: 'Vom Mantel zum Ozean: Energie-, Stoff- und Lebenszyklen an Spreizungsachsen'.

### References:

Fabian, M., Villinger, H. (in press). The Bremen Ocean Bottom Tiltmeter, OBT,- a technical article on a new instrument to monitor sea-floor tilt and local seismicity, Marine Geophysical Researches.

Fabian, M., Heesemann, B. (2006). Neigungswaage für Unterwasser- und Hochdruckanwendungen (deep sea level), Gebrauchsmusterschrift (registered design) DE 20.2006.013066 U1 - Universität Bremen, Deutsches Patent- und Markenamt.

Gerlind Wagner (IFM-GEOMAR) , Viola Gaw , Timothy J. Reston , Ernst Flueh , Dirk Kläschen

## Wide-angle seismic investigations of the structure of the Porcupine Basin, west of Ireland

Email: gwagner@ifm-geomar.de

The Porcupine Basin west of Ireland has the shape of an inverted V, reflecting the southward increase of extension factors from 1.5 in the north to values greater than 6 in the south that are more commonly associated with rifted margins. As such, the basin provides a laboratory to investigate the evolution and symmetry of rifting leading toward continental separation and breakup: a series of east-west sections at different latitudes cross the basin where the maximum amount of extension is typical of a moderately extended rift in the north, a very extended deep rift basin in the middle and a pair of conjugate rifted margins in the south. Comparison between these sections thus represents the formation of a rifted margin at different stages in its evolution. In this presentation, we report the results from a Meteor cruise in 2004 which collected wide-angle seismic data along existing seismic reflection profiles.

On the seismic reflection profiles, a bright reflection (P) is imaged at mid-latitudes and appears to represent a detachment fault, and may in part follow the top of partially serpentinized mantle. This is consistent with results from gravity modelling, and with numerical models of crustal embrittlement and mantle serpentinization during extension. Although overall the basin remains symmetric, the consistent westward structural dip of the detachment implies that, at high stretching factors, extension was asymmetric. Farther south, the Porcupine Median High appears in cross-section to be a triangular construction overlying tilted fault blocks and overlapped by postrift sediment. Despite no

evidence for synrift magmatism, this high has previously been interpreted as a basaltic structure. However, it develops above the line of intersection of the crust-mantle boundary with the P detachment, and hence to be spatially related to the onset of serpentinization. The median high may represent a serpentinite-mud volcano or diapir: we suggest that such structures produce the serpentinite breccias found within the rifted continent-ocean transition of non-volcanic margins.

The Meteor cruise collected six wide-angle profiles, recorded by over 100 instruments in total. Data quality is excellent. Traveltime modelling results of the wide-angle data from several profiles are shown on this poster. Already there are indications of very thin crust and relatively low mantle velocities beneath the centre of the basin, consistent with mantle serpentinisation occurring beneath highly faulted and extended crust.

Norbert Kaul (Universität Bremen) , Sebastian Krastel

## **Thermal expression of geodynamic processes on the Cretan Margin**

Email: [nkaul@uni-bremen.de](mailto:nkaul@uni-bremen.de)

A major objective of Poseidon Cruise POS336 north of the island of Crete was the investigation of landslides and tectonically related structures. Two slide structures and one ridge system were intensively investigated using reflection seismic data, multibeam data, coring, cone penetrometer tests and heat flow measurements. We present temperature gradient measurements and heat flow determinations from these structures. Questions contain: do slide structures show a thermal signal which could help in age estimation? Are faults active and connected with a temperature signal? Does fluid outflow exits in this generally compressive setting probably generated by overpressure? A structure, tentatively named "horse shoe structure", some 60 km north of Crete appears to be one spot for fluid expulsion, deduced from heat flow measurements. The working area, shallow in water depth and near to the coast, reveals as a challenging terrain for any probing of the sea floor. Heat flow measurements on the slope structures need a close inspection for their geoscientific meaning.



Kai Berglar (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)) , Christoph Gaedicke , Rüdiger Lutz , Stefan Ladage , Dieter Franke , Sönke Neben

## **Tektonische und sedimentäre Entwicklung des Simeulue Forearc-Beckens, Nordwestsumatra**

Email: kai.berglar@bgr.de

Während zweier Fahrten mit dem Forschungsschiff Sonne in 2006 wurden ungefähr 1460 km Mehrkanalseismik im Gebiet des Simeulue-Beckens, eines NW-SE streichenden Forearc-Beckens der Sumatra-Subduktionszone, aufgenommen. Zwei seismische Linien auf dem Schelf kreuzen Industriebohrungen, die zur chronostratigraphischen Kalibrierung verwendet wurden.

Wir haben drei übergeordnete Diskordanzen im Becken identifiziert: Die älteste repräsentiert die Grenze zwischen den prä-neogenen Sedimenten und den jüngeren Schichten, welche durch klare onlap-Strukturen belegt ist. Eine zweite Diskordanz ist mittel- bis spätmiozänen Alters und korrespondiert mit einem relativen Meeresspiegeltiefstand, woraus eine Erosionsfläche resultiert. Die Sedimentsäule darüber zeigt eine unterschiedliche Ausprägung im nördlichen und südlichen Beckenbereich: Im Norden sind beckenwärts einfallende Reflektoren hoher Amplituden mit Bereichen chaotischer seismischer Fazies verzahnt. Im südlichen Becken herrschen Riffkomplexe vor. Die jüngste sedimentäre Sequenz ist durch parallele durchgehende Reflektoren mit hohen Amplituden charakterisiert. Wir interpretieren diese Diskordanz als Plio- Pleistozän-Grenze, da zu dieser Zeit ein Sedimentationswechsel von turbiditischen Ton- und Siltsteinen zu Sandsteinen stattfand.

Das Simeulue-Beckens hat durch die anhaltende schiefe Subduktion eine komplexe Deformationsgeschichte. An der westlichen Gren-

ze des Beckens befinden sich aus transpressiven Störungen resultierende Sattelstrukturen, wie sie in Forearc-Becken schräger Subduktionszonen beschrieben sind (z.B. die Mentawai-Störung vor Südsumatra). Rezente Deformation zeigt sich in lokaler Beckeninversion, was zu Erosion und untergeordneten Abschiebungen in Form von Staffelbrüchen im angehobenen Gebiet führt.

Thomas Temmler (BGR - Hannover) , Mathias Marquardt , Romina Gehrman , Christian Hensen , Christian Müller , Klaus Wallmann

## **Kombinierter geophysikalisch - geochemischer Ansatz zur Quantifizierung von Gashydrat**

Email: [Thomas.Temmler@bgr.de](mailto:Thomas.Temmler@bgr.de)

Die durch zunächst globale Annahmen abgeschätzten Menge von Erdgas in Gashydratvorkommen ist durch Bohrungen und geowissenschaftliche Untersuchungen im Laufe der letzten 40 Jahre deutlich nach unten revidiert worden. Zur besseren Quantifizierung von lokalen und regionalen Gashydratvorkommen soll in dem durch die DFG geförderten Projekt HYDRA ein geophysikalischer und ein geochemischer Ansatz verbunden werden. Diese Verbindung soll die Vorteile der jeweiligen Ansätze nutzen und verbinden, um so noch detaillierter zum Wissen über die Gashydratverteilung beizutragen. Der geophysikalische Ansatz bietet den Vorteil einer flächenhaften Erfassung eines großen Messgebietes. Der geochemische Ansatz liefert punktuell eine sehr genaue Bestimmung des Gashydratpotenzials und dient gleichzeitig der Kalibrierung für den geophysikalischen Ansatz. Die Datengrundlage des Projektes HYDRA bilden die Porenwasser- und Feststoffdaten der ODP Bohrungen des Leg 170 und die seismischen Profile der Messfahrten SO81 und BGR99 vor der pazifischen Küste Costa Riccas.

Der geochemische Ansatz der Diagenese-Modelle berechnet die biogene Umsetzung von organischem Material zu Methan. Dieses Methan wird durch den fortschreitenden Sedimentationsprozess versenkt und bei entsprechender Konzentration in der Gashydratstabilitätszone (GHSZ) als Gashydrat akkumuliert. Die Tiefe und Mächtigkeit der GHSZ leitet sich aus dem geothermischen Gradienten ab. Beim gesamten

Gashydratbildungsprozess werden Fluide wie  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^-$  und  $\text{SO}_4^{2-}$  an- und abgereichert. Diese Informationen werden punktuell aus den Porenwasseranalysen der ODP/IODP Bohrungen entnommen. Die Feststoffdaten der Bohrungen bieten die nötigen Informationen über die Zusammensetzung des organischen Materials, die Abbaukinetik, Sedimentationsraten, Sedimentmächtigkeit und die Porosität. Das Diagenese-Modell wird so modifiziert, dass das Ergebnis der Modellrechnung und die Messdaten eine geringst mögliche Abweichung aufweisen.

Der geophysikalische Ansatz der Effektivmediumtheorie (EMT) errechnet aus Druck, der mineralischen Zusammensetzung der Sedimentmatrix, Porosität, Gashydratkonzentration und Gashydratmodell das Kompressions- und das Schermodul sowie die Dichte des Gesteinspaketes. Aus den Moduln und der Dichte werden die seismischen Geschwindigkeiten  $v_p$  und  $v_s$  errechnet. Die seismische Geschwindigkeit  $v_p$  wird wiederum aus reflexionsseismischen Daten der oben benannten Messfahrten bestimmt. Die Geschwindigkeitsbestimmung erfolgt in erster Näherung mit der Semblance-Geschwindigkeitsanalyse und wird anschließend durch Anwendung der Migration Velocity Analysis (MVA) verbessert. Die MVA ist eine Prestack Tiefenmigration bei der iterativ und somit genauer die Stapelgeschwindigkeiten bestimmt und abschließend für die EMT in Intervallgeschwindigkeiten umgerechnet werden. Um die Konzentration von Gashydrat zu berechnen, ist ein Inversi-

onsalgorithmus entwickelt worden, bei dem die Intervallgeschwindigkeit  $v_p$  bezüglich der Gashydratkonzentration invertiert wird. Die Anzahl der Inversionsschritte ist durch eine gewählte Fehlerschranke beschränkt.

Als erste Aufgabe ist im Projekt eine Sensitivitätsanalyse der Eingangsparameter der beiden Ansätze durchgeführt worden. Dabei wurde zunächst ein Standardmodell definiert und die Werte der Ausgabeparameter der beiden Ansätze für dieses Standardmodell bestimmt. Durch die Änderung jeweils eines Eingabeparameters in einem jeden Ansatz, wurde die Schwankungsbreite der Ausgabeparameter berechnet.

Als Ergebnis dessen zeigte sich, dass die Porosität im geophysikalischen Ansatz eine hohe und im Gegensatz dazu im geochemischen Ansatz eine geringe Sensitivität besitzt. Alle anderen Eingangsparameter haben eine überwiegend geringe Sensitivität.

Dies bedeutet, dass ein belastbares Porositätsmodell für den geophysikalischen Ansatz gewählt werden muss. Da keine in situ Bestimmung möglich ist, beruht die Porosität auf Messungen an den druckentlasteten Bohrkernen der ODP/IODP Bohrungen. Da die Bohrkern eine Entgasung von Gashydrat an der Erdoberfläche erfahren haben und somit nicht die in situ-Porosität repräsentieren, werden die aus den druckentlasteten Kernen gewonnenen Porositätswerte einer Standardkurve angepasst.

An den ODP/IODP Bohrungen wurde mit vereinfachten Randbedingungen unter Atmosphärenbedingungen eine Abschätzung der Menge an Methan, das in der GHSZ im Gashydrat gebunden ist, durchgeführt. Dabei ergab sich an der Bohrung 1041, die sich im Kontinenthang befindet, eine Menge von  $460 \text{ m}^3$  Erdgas pro  $\text{m}^2$  Meeresboden. An der Bohrung 1040, die sich nahe dem Tiefseegraben befindet, konnte ein Wert von  $565 \text{ m}^3/\text{m}^2$

abgeschätzt werden.

Für die flächenhafte Erfassung der Gashydratkonzentration wurden in den seismischen Profilen die Tiefe des Meeresboden Simulierenden Reflektors (BSR) und die Tiefe der Sedimentunterkante kartiert. Die BSR-Tiefen zeigen zum einen die Unterseite der GHSZ und zum anderen lässt sich aus dieser der für den geochemischen Ansatz notwendige geothermische Gradient ableiten. Die Sedimentmächtigkeit ist einerseits direkter Eingangsparameter des geochemischen Ansatzes, andererseits lässt sich aus dieser zusammen mit Altersdatierungen auch auf die Sedimentationsraten zurück schließen.

Im weiteren Verlauf des Projektes HYDRA soll neben der Bestimmung der Gashydratverteilung auch eine empirische Transfer-Funktion abgeleitet werden, um aus vereinzelt geochemischen und geophysikalischen Parametern auf die Gashydratverteilung zurückzuschließen.

#### **Danksagung**

Dieses Projekt wird von der DFG unter den Nummern HE 3512/1-2 und MU 2662/1-1 gefördert.

Christian Müller (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)), Heidrun Kopp, Yusuf Djajadihardja, Martin Engels, Ernst Flueh, Christoph Gaedicke, Ewald Lüschen, Dzulkarnaen D. P. Soemantri, SINDBAD Working Group

## **The Sunda-Banda Arc Transition - First results from recent marine geophysical investigations offshore eastern Indonesia (Part 1)**

Email: Christian.Mueller@bgr.de

After the Indian Ocean Mw 9.1 earthquake and Tsunami from December 26, 2004, intensive research activities offshore northern and central Sumatra have contributed to an improved understanding of this part of the Sunda Arc subduction system, e.g. in terms of upper plate segmentation and outer arc high evolution. However, while a broad database is now available for this part of the Sunda Arc, the also highly active easternmost part of this subduction system, e.g. indicated by the south of Java Mw 7.7 earthquake and Tsunami from July 17, 2006, has remained almost unexplored until recently.

During RV SONNE cruise SO190 from October until December 2006, marine geophysical data have been acquired at the eastern Sunda Arc and the transition to the Banda Arc within the framework of the project SINDBAD (Seismic and Geoacoustic Investigations along the Sunda-Banda Arc Transition). The main goal of this project is to investigate the relation between the variability of the lower plate and the tectonic evolution of the overriding plate in terms of outer arc high formation and evolution, forearc basin development, and accretion and erosion processes of the overriding plate. The study area is especially eligible for these investigations since the subducting Indo-Australian Plate is characterized by rough topography where the Roo Rise is subducting off eastern Java and by smooth oceanic crust of the Argo Abyssal Plain off Bali, Lombok, and Sumbawa further to the east.

The forearc is responding to differences in

the incoming oceanic plate with the absence of a pronounced forearc basin off eastern Java and with the development of the pronounced and deep (>4000 m) forearc Lombok Basin off Bali, Lombok, and Sumbawa. The eastern termination of the Lombok Basin is formed by Sumba Island, which shows evidence for recent uplift, probably associated with the subduction of the continental Scott Plateau. The Sumba area also represents the transition from subduction of the oceanic Argo Abyssal Plain underneath the eastern Sunda island arc to collision of the continental Australian Plate with the Banda island arc.

RV SONNE cruise SO190 was subdivided into two legs. During the first leg high-resolution multichannel reflection seismic and potential field data have been acquired, while the second leg was mainly attributed to the deeper structures utilizing wide-angle OBH/OBS measurements. We present preliminary results from the first leg of this expedition focussing on the geometry and evolution of the eastern Sunda forearc based on almost 5000 km of multichannel seismics, magnetics, and gravimetry profiles.

### **Acknowledgements**

This project is funded by the Federal Ministry of Education and Research (BMBF) under grant 03G0190B. We thank Captain O. Meyer and his crew from R/V SONNE for their professional assistance during the cruise.

Michael Schnabel (BGR Hannover) , Volkmar Damm , Dieter Franke , Sönke Neben

## **Auswirkungen des subduzierenden Investigator-Rückens vor der Küste Siberuts, Indonesien**

Email: michael.schnabel@bgr.de

An konvergenten Plattengrenzen hat die Beschaffenheit der subduzierenden ozeanischen Kruste entscheidenden Einfluss auf die strukturelle Entwicklung der Subduktionszone. Insbesondere die Topographie beeinflusst die Größe und Position der seismogenen Zone als auch die Struktur des Anwachskeils, die Form der Äußeren Schwelle und die Störungsverteilung und Sedimentmächtigkeit im Äußeren Becken.

Wir präsentieren Ergebnisse eines weitwinkel-seismischen Experimentes, das im August 2006 im Rahmen des Projekts "SO190 – SUMATRA" durchgeführt wurde. Das Profil mit 200 km Länge liegt südwestlich der Insel Siberut vor Sumatra und verläuft parallel zum Tiefsee-Graben. In diesem Bereich befindet sich der Investigator-Rücken in nordsüdlicher Erstreckung auf der ozeanischen Platte und wird in einem spitzen Winkel von 70 Grad zur Deformationsfront unter den indonesischen Inselbogen subduziert. Seewärts des Tiefseegrabens zeigt ein Mehrkanalseismik-Profil, dass die ozeanische Platte Variationen in der Topographie von bis zu 2 km aufweist.

Um die Effekte dieser topographischen Variationen auf die Subduktionszone zu bestimmen wenden wir auf den vorliegenden Datensatz eine kombinierte Reflexions- und Refraktions-Tomographie an. Damit können sowohl Aussagen über die Verteilung der seismischen Geschwindigkeit im Anwachskeil als auch über die Struktur der abtauchenden

Platte getroffen werden.

Ingo Heyde (BGR Hannover) , Udo Barckhausen , Bernd Schreckenberger

## **Marine Magnetik- und Schweremessungen an der Subduktionszone vor Sumatra**

Email: heyde.i@bgr.de

Während der SONNE Fahrten SO-186 (SE-ACAUSE) und SO-189 (SUMATRA) wurden marine Magnetik- und Schweremessungen vor Sumatra durchgeführt. Zusammen mit den Daten, die 1998/99 während der SONNE Fahrten SO-137 und SO-138 (GINCO) gewonnen wurden, liegen nun Magnetik- und Schweredaten entlang einer Gesamtprofillänge von ca. 33000 km von Aceh im Norden bis zur Sundastraße im Süden vor.

### **Magnetik**

Die magnetischen Seafloor-Spreading-Anomalien des indischen Ozeans vor Sumatra sind nach Cande et al. (1989) durch Nord-Süd streichende Bruchzonen in Abständen von 100 - 250 km und ehemalige Spreizungsachsen gekennzeichnet. Die Krustenalter betragen zwischen 70 und 45 Mill. Jahren. Die neuen Magnetikdaten zeigen klare Ost-West streichende Streifenanomalien, die im wesentlichen Cande et al. zu bestätigen scheinen. Allerdings ist in Verbindung mit den Ergebnissen der bathymetrischen Kartierung und der Gravimetrie eine Interpretation sinnvoll, in der eine zusätzliche Bruchzone westlich des Investigator-Rückens bei etwa 97°E existiert. Aus den neuen Magnetikdaten alleine lässt sich die Interpretation von Cande et al. weder sicher bestätigen noch eindeutig modifizieren, da der Vergleich mit entsprechenden modellierten Anomalien keine eindeutigen Korrelationen ergibt. Der Streifen, in dem die Anomalien bis jetzt in guter Qualität kartiert sind, ist einfach zu schmal. Die Hinzunahme von Magnetikpro-

filen aus der Datenbank GEODAS verbessert die Kartierung nicht entscheidend. Im Bereich des Outer Arc Hochs werden nur schwache Anomalien beobachtet, die fast überall als die abgeschwächten Seafloor-Spreading-Anomalien der abtauchenden ozeanischen Kruste angesprochen werden können. Dieses stimmt mit dem vermuteten Aufbau des Forearc-Hochs aus akkretierten Sedimenten überein. Im Bereich der Forearc-Becken vor Sumatra herrschen generell negative magnetische Anomalien vor, ähnlich wie diese auch vor Java beobachtet werden. Aufgrund ihrer großen räumlichen Ausdehnung und ihrer Langwelligkeit werden sie mit einer schwachen induzierten Magnetisierung der gesamten kontinentalen Kruste von Sumatra und Java erklärt. Ein hoher und weitgehend homogener Anteil an vulkanisch-basaltischem Material in der kontinentalen Kruste könnte die Ursache darstellen.

### **Gravimetrie**

Die Freiluftschwereanomalien der Schiffsmessungen wurden mit Anomaliendatensätzen verglichen, die aus der Satellitenaltimetrie gewonnen wurden. Der Vergleich führte zur Einbeziehung der KMS02 Daten (Andersen and Knudsen, 2001) bei der Erstellung der Schwerekarte für Gebiete in denen keine Schiffsmessungen durchgeführt wurden. Die ozeanische Kruste im SW zeigt in weiten Bereichen leicht positive Freiluftschwereanomalien, die aus dem Einfluss der Aufwölbung der Indo-Australischen Platte vor dem Abtauchen resultieren. Darüberhinaus finden sich N-S

streichende Anomalien, die mit einer Reihe von Transformstörungen korreliert werden können. Durch die neuen Schweredaten zeigen sich bei einigen deutliche Auffächerungen. Landwärts verläuft eine etwa 50 km breite negative Anomalie, wobei die Werte von SE nach NW von etwa -160 mGal bis -40 mGal ansteigen. Diese spiegeln den Sundagraben mit abnehmenden Wassertiefen von 6500 m im Bereich der Sundastrasse zu 4000 m vor Aceh wider. Zur Küste hin steigen die Schwerewerte an und erreichen eine Zone mit Maxima von +60 bis +160 mGal im Bereich des Outer Arc Hochs. Diese Zone ist etwa 120 km breit, wobei das Outer Arc Hoch im Süden weniger ausgeprägt als im Norden ist. Weiter nach NE folgen lang gestreckte negative Anomalien mit Schwerewerten, die sogar noch geringer als im Bereich des Grabens sind. Sie korrelieren mit Forearc Becken, die Sedimentfüllungen von bis zu 7 km Mächtigkeit aufweisen. Im Bereich des Äquators ist kein Becken ausgebildet. Das EW streichende Schwerehoch in diesem Gebiet zeigt eine deutliche geographische Korrelation mit dem Schwerehoch der Investigator Störungsszone auf der sich anschließenden ozeanischen Kruste im Süden. Ein Zusammenhang zwischen Beiden ist wahrscheinlich. Die Subduktion der Störungsszone ist ein möglicher Grund für den Wechsel der Streichrichtung sowohl des Grabens als auch des Outer Arcs und Forearcs nördlich von Nias. Es wurde ein 3D Dichtemodell der Subduktionszone vor Sumatra erstellt. Seismologische und vor allem die Ergebnisse der BGR Mehrkanalseismik und Refraktionsseismik wurden berücksichtigt und als Randbedingungen eingearbeitet.

Andersen, O.B. & Knudsen, P., 2001: Global marine gravity field from the ERS-1 and GEOSAT geodetic mission altimetry, *J. Geophys. Res.*, 103, C4, 8129.

Cande, S.C., LaBrecque, J.L., Larson, R.L.,

Pitman, W.C., Golovchenko, X. & Haxby, W.F., 1989: Magnetic lineations of the world's ocean basins. LDGO contribution 4367, AAPG, Tulsa, Oklahoma.

Dieter Franke , Christoph Gaedicke , Stefan Ladage (BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) , David Tappin , Sönke Neben , Axel Ehrhardt , Christian Müller , Yusuf Djajadihardja

## **Contrasting structural styles of accretion along the Sumatra subduction zone**

Email: stefan.ladage@bgr.de

Along the Sumatra subduction zone we distinguish two styles of deformation and accretion. This study bases on some 9000 km multi-channel seismic profiles acquired by the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR) of Germany during two expeditions in 2006 (cruises RV Sonne 186 and 189) between Aceh in the north and Enggano Island in the south.

The first style of deformation is characterized by landward and seaward dipping thrusts. These occur above a gently dipping oceanic crust (about  $0.5^\circ$  over  $250\text{ km}$ ) from the eastern flank of the Ninety East Ridge to the deformation front off northern Sumatra. The sediments covering the oceanic crust at the slope toe are between  $3.0\text{ s}$  and  $3.2\text{ s}$  (*TWT*) thick. The subducting oceanic crust dips at  $\approx 3^\circ$  under the frontal part of the wedge for at least  $60\text{ km}$ . A proto-thrust develops in most cases already some  $5\text{ km}$  to  $10\text{ km}$  seaward of the slope toe. The low level detached trench sediments in most cases are sliding along a seaward dipping thrust plane onto older accreted material forming 3 to 5 thrust slices. The thrust plane forming the ramp is probably evolving from the set of reverse faults that develop already distal from the deformation front in the sediments covering the oceanic crust.

The second deformation style we observe is a conventional imbricate stack of thrust slices. This occurs in the region offshore of Simeulue Island, south of approx  $2.5^\circ\text{ N}$ , where the architecture of the fore arc changes significantly. He-

re, the oceanic crust dips at an angle of  $\approx 7^\circ$  within the first  $50\text{ km}$  beneath the lower slope. Mainly  $2.5\text{ s}$  (*TWT*) sediments fill the deepest part of the trench, but in seaward direction, we observe a sharp decrease in the sedimentary cover to less than  $1.0\text{ s}$  (*TWT*) thickness. Deformation starts at the slope toe with an anticline developing above a landward dipping thrust fault. The steep slope rises continually to the outer arc high in the prolongation of the Islands of Simeulue and Nias. The wedge is built up by a stack of thrust slices bounded by landward dipping reverse faults that rise from a common basal detachment some  $0.2\text{ s}$  (*TWT*) above top oceanic crust reflection.

The oceanic crust beneath the trench off the Mentawai Islands (south of  $1^\circ\text{ S}$ ) is intensively faulted with offsets up to  $0.6\text{ s}$  (*TWT*). These faults are often listric, leading to half grabens or rotated crustal fault blocks. The oceanic crust morphology in the area depicts several ridges and other bathymetric highs. The sedimentary fill of the morphologically expressed trench is about  $1.2\text{ s}$  to  $1.7\text{ s}$  (*TWT*) at the deformation front. As offshore northern Sumatra, both landward and seaward verging folds developed at the deformation front. The incoming sediment pile is completely involved in thrusting and accretion. The frontal wedge is build up of two to three larger thrust slices. Further upslope a major landward dipping thrust fault, presumably an out of sequence thrust, breaks through the seafloor. Upslope this thrust the slope is merely gently dipping and has a plateau-like morpholo-



gy.

Thomas Scheunert (TU Bergakademie Freiberg) , Wolfgang Storz , Ralph-Uwe Börner , Klaus Spitzer

## **Dreidimensionale Simulationsrechnungen zur marinen Geoelektrik**

Email: rub@geophysik.tu-freiberg.de

Im Rahmen einer Messkampagne zur Untersuchung der elektrischen Eigenschaften von Ostseesedimenten wurden im Herbst 2004 mittels einer handelsüblichen Geoelektrikapparatur eine Reihe von Testmessungen durchgeführt.

Das Ziel der Messungen bestand zunächst darin, die verwendete Apparatur an die herrschenden Messbedingungen anzupassen. Weiterhin sollte untersucht werden, ob mit herkömmlichen Elektrodenkonfigurationen unter Verwendung im Wasser geschleppter oder am Seeboden liegender Kabelbäume eine Detektion von hochohmigen Einlagerungen im Seeboden überhaupt zufriedenstellend möglich ist.

Vorliegende Arbeit hat zum Ziel, die Detektierbarkeit derartiger Störkörper mittels 3D-Simulationsrechnungen quantitativ zu untersuchen. Dabei soll zunächst gezeigt werden, inwiefern geoelektrische Messungen mit harmonischer Stromeinspeisung von 2, 4 und 8 Hz der Gleichstromnäherung unterliegen. Zur Klärung dieser Fragestellung wurden einerseits Messungen mit stationären Strömen an der Seebodenoberfläche simuliert und mit analytischen Referenzlösungen verglichen. Andererseits erfordert die Einspeisung niederfrequenter sinusförmiger Ströme die theoretische Untersuchung möglicher Induktionseffekte unter besonderer Berücksichtigung des leitfähigen Meerwassers sowie der Seebodensedimente. Dazu wurden Messungen für eine an der Seebodenoberfläche angebrachte horizontale elektrische Dipolquelle simuliert. Die zugrundeliegende Helmholtzgleichung in quasistationärer Näherung wurde mit der Finite-Elemente-Methode numerisch gelöst und mit den Ergebnissen der simulierten

Gleichstrommessungen verglichen.

Das Poster illustriert, unter welchen Voraussetzungen bei geoelektrischen Messungen am Seeboden von einer Gleichstromnäherung für die gemessenen elektrischen Felder ausgegangen werden kann, wenn Ströme mit Frequenzen von 2, 4 und 8 Hz eingespeist werden. Darüber hinaus werden Modellstudien zur Detektierbarkeit von hochohmigen Einlagerungen im Seebodensediment vorgestellt und diskutiert.

Michael Schauer , Stefan Ladage (BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) , Wilhelm Weinrebe , Kai Berglar , Ernst Flueh , Heidrun Kopp , Anne Krabbenhöft , Christoph Gaedicke

## Seafloor Morphology and Structures of the Sunda Trench off Sumatra

Email: stefan.ladage@bgr.de

During several cruises with RV SONNE in 2005 and 2006 (SO186, SO189) systematic multibeam bathymetric surveys offshore Sumatra have been conducted. The bathymetric dataset now covers large parts of the trench and slope between Simeulue Island and the entrance to the Sunda strait. Here, we present a morphotectonic map and structural analysis of this new bathymetric dataset. The incoming oceanic crust, largely draped by a sedimentary cover, depicts a trench parallel conjugate, steeply dipping normal fault set building Horst and Graben structures. Two prominent ridges, the Investigator Ridge and the Wharton Ridge have a relief of 600 – 700m. In the vicinity to these ridges a second normal fault set has developed on the oceanic crust striking parallel to the ridges in N-S direction. These ridges as well as several other topographic highs further south are recently being subducted beneath the Sumatra margin. They deform and offset the lower slope and accretionary prism. The most prominent offset of about 15 km of the deformation front is observed in prolongation of the subducting Investigator Ridge. These ridges account for a general along strike segmentation of the deformation front and accretionary prism and possibly the subduction zone as a whole. The lower slope and accretionary prism are built up by a set of thrust faults and anti-clines. In general fold axes strike NW – SE parallel to the trench. However, where the ridges subduct beneath the slope fold axes are rotated and strike NNW – SSE demonstrating a local rotation of the stress field. The recent activity of this domain is also expressed by an

increased number of observed surficial collapse structures and slumps. Additionally a third orientation of N-S striking lineaments is observed. These lineaments are especially pronounced by transverse channels and furrows feeding piggy back basins further upslope. Along these lineaments fold axes are also offset usually in a dextral sense. The structural inventory of the slope and accretionary prism thus depicts a complex interference of tectonic lineaments. This setting is partly due to the oblique convergence along the Sunda subduction zone with associated trench parallel and orthogonal strain partitioning, as well as the recent subduction of large oceanic ridges.

A. Shulgin (IFM-GEOMAR, Wischhofstr.1-3, 24148 Kiel, Germany) , L. Planert , Christian Müller , Ernst Flueh , Heidrun Kopp , Anne Krabbenhöft , Ewald Lüschen , M. Dayuf Yusuf , SINDBAD Working Group

## **The Sunda-Banda Arc Transition - First results from recent marine geophysical investigations offshore eastern Indonesia (Part 2)**

Email: ashulgin@ifm-geomar.de

The great Sumatra earthquake and the following Tsumani of 2004 triggered intense attention to the region around Sumatra from the point of view of subduction processes and tectonics of the region together with the earthquake hazards prediction questions. However the regions to the east, around Java and Sunda islands are believed to be also capable of producing megaearthquakes and tsunami, are still not well studied.

In October - December 2006 within the project RV SONNE cruise SO190 was conducted. The main goal of this project is to investigate the modifications of the lower plate (variability in the plate roughness, transition from oceanic to continental lower plate) and there effects on the tectonics of the upper plate (development of an outer high and forearc basin, accretionary and erosive processes) in the changing subduction style: from an continental - island arc collision along the Banda margin to oceanic - island arc style along the eastern Sunda margin. This region is especially interesting for the study as the subducting Indo-Australian Plate is characterized by rough topography. The subduction regime to be studied should be varying from the area where the Roo Rise is subducting off eastern Java, to the area where the smooth oceanic crust of the Argo-Abyssal Plain is subducting off Bali, Lombok, and Sumbawa further to the east.

The cruise was subdivided into two legs. During the first leg high-resolution multichannel reflection seismic and potential field data have

been acquired, while on the second leg mainly wide-angle OBH-OBS dataset for the deeper structures was collected. In this work we present the first results from the data set collected during the second leg of the cruise. The dataset includes wide-angle OBH-OBS data, magnetic measurements together with high resolution bathymetric data. The data on 10 seismic profiles have been collected with a total length of almost 2000 km. Here we present first preliminary results of seismic wide-angle data interpretations of those profiles.

**Acknowledgements** We thank Captain O. Meyer and his crew from RV SONNE for their professional assistance during the cruise. The project is supported by the BMBF (grant 03G0190A).

Frank Strozyk (RCOM, Universität Bremen), Katrin Huhn, Achim Kopf, Sebastian Krastel, Ingo Kock, P336 Arbeitsgruppe

## Interpretation und Analyse seismischer Daten aus dem Bereich des Kontinentalhangs NO Kretas

Email: strozyk@uni-bremen.de

Subduktionsinduzierte Erdbeben und damit verknüpfte Rutschungen sind ein entlang des Hellenischen Bogens im östlichen Mittelmeer oftmals beschriebenes Phänomen (Lykousis et al 2002). So wurde bereits eine Vielzahl von Rutschungen südlich der Insel Kreta, ein dem Mittelmeerakkretionsrücken als Widerlager dienendes forearc Hoch, kartiert (Chaumillon & Mascle 1996). Im Unterschied dazu ist der Bereich nördlich der Insel - die Kretische See, ein forearc-Becken der Hellenischen Subduktionszone, bisher kaum untersucht. Während der Ausfahrt mit FS Poseidon P336 im Frühjahr 2006 wurden neben einem dichten bathymetrischen Netz auch reflexionsseismische Daten im NO der Insel Kreta aufgenommen.

Die seismischen und bathymetrischen Profile zeigen einen markanten Rutschungskörper nördlich der Stadt Malia, Kreta. Die Rutschung hat eine laterale Ausdehnung von ca. 20 km in NE-SW und ca. 12 km in NW-SE-Richtung und weist eine maximale Mächtigkeit von etwa 80 m im oberen Bereich in unmittelbarer Nähe der Abbruchkante auf. Eine detaillierte Analyse des Rutschungsvolumens soll erfolgen. Die dazu notwendigen Informationen über die Geometrie der Rutschung sowie die Lage der Rutschungsbasis werden durch ein dichtes Netzwerk aus 32 Profillinien mit einem Profilstand von 1-3 km ermöglicht, das den gesamten Rutschungskörper überdeckt. So konnte der Bereich der Abbruchkante in ca. 400 m Wassertiefe anhand eines deutlichen Wechsels in der Hangneigung ausgemacht werden. Das Gelände

fällt im Bereich der Abbruchkante mit ca. 16° über einen Höhenunterschied von ca. 50 m ab, wohingegen der durchschnittliche Einfallswinkel des Meeresbodens oberhalb der Abbruchkante bei 2°-3° liegt.

Des Weiteren baut sich der Rutschungskomplex vertikal aus mehreren transparenten bis chaotischen Einheiten auf. Diese sind durch Einheiten schwacher Reflektoren getrennt, die sich aber nicht über die gesamte laterale Ausdehnung der Rutschung verfolgen lassen. Parallel konnten mehrere intakte Sedimentblöcke innerhalb der gerutschten Sedimente identifiziert werden. Generell ist eine Abnahme der internen Deformationen mit zunehmender Wassertiefe anhand deutlich stratifizierter Sedimente und gleichzeitiger Abnahme chaotischer Strukturen zu beobachten. Im Liegenden unterhalb dieses Rutschungskomplexes können auf einige N-S Profilen vertikal gestapelte, ältere Rutschungen identifiziert werden, welche durch kontinuierliche, gut stratifizierte Reflektoren separiert werden.

Parallel dazu liefern auch die bathymetrischen Daten erste Aussagen zur Rutschungskinetik. Das Material ist größtenteils vom Kontinentalhang Nordostwärts in Richtung des Kretischen Beckens transportiert worden. Die Orientierung und Reichweite der Rutschung wird dabei durch die regionale Basementmorphologie bestimmt. So behindert eine Schwelle in ca. 800 m Wassertiefe, die ein kleineres, höher gelegenes Becken vom Kretischen Becken abtrennt, den Sedimenttransport in größere Was-

sertiefen.

Chaumillon, E., Mascle, J., 1996: From foreland to forearc domains: New multichannel seismic reflection survey of the Mediterranean ridge accretionary complex (Eastern Mediterranean), *Marine Geology* 138 (1997), 237-259

Fassoulas, C., 2000: The tectonic development of a Neogene basin at the leading edge of the active European margin: the Heraklion basin, Crete, Greece, *Journal of Geodynamics* 31 (2001), 49-70

Lykousis, V., Roussakis, G., Alexandri, M., Pavlakis, P., Papoulia, I., 2002: Sliding and regional slope stability in active margins: North Aegean Trough (Mediterranean), *Marine Geology* 186 (2002), 281-298

---

## **2.17 PL - Planetologie**

Nico Schilling (Institut für Geophysik, Universität zu Köln) , Fritz M. Neubauer , Joachim Saur

## **Elektromagnetische Induktion im subkrustalen Ozean von Europa durch zeitlich variable magnetosphärische Magnetfelder**

Email: [schilli@geo.uni-koeln.de](mailto:schilli@geo.uni-koeln.de)

Magnetfeldstörungen, die von der Raumsonde Galileo beim Jupitermond Europa beobachtet wurden, sind konsistent mit induzierten Magnetfeldern aus dem Inneren des Mondes. Diese Magnetfelder werden durch elektromagnetische Induktion in einem potentiellen stark elektrolytisch leitfähigem Ozean unter der Eiskruste von Europa verursacht. Zusätzlich besitzt Europa eine Sauerstoff-Atmosphäre und Ionosphäre, die mit dem magnetosphärischen Plasma wechselwirkt. Durch diese Wechselwirkung entsteht im Außenraum von Europa ein Stromsystem dessen Berücksichtigung bei der Interpretation der Magnetfeldmessungen von Galileo bei Europa von entscheidender Bedeutung ist. Wir haben ein zeitabhängiges 3D MHD Modell entwickelt, um sowohl die Leitfähigkeitsverteilung im Inneren Europas als auch die zeitlich variable Wechselwirkung zwischen der Jupitermagnetosphäre und der Europaatmosphäre zu untersuchen. Die zeitlichen Variationen werden dabei durch periodische Variationen des magnetosphärischen Plasmas und der Magnetfelder bei Europa verursacht. Wesentlich und neu ist in unserem Modell die gleichzeitige Berücksichtigung von EM-Induktionseffekten in einem elektrisch leitenden Ozean unter der Oberfläche von Europa. Das MHD-Strömungsproblem und das Induktionsproblem im Inneren werden simultan gelöst und die gegenseitige Beeinflussung beider Effekte untersucht. Durch den Vergleich unserer Modellergebnisse mit den Messdaten der Raumsonde Galileo können wir wesentlich verbesserte Aussagen über Leitfähigkeit und Dicke des Ozeans gewinnen.



Kai Wünnemann (Museum für Naturkunde, Humboldt-Universität zu Berlin) , Robert Weiss , Kay Hofmann

## **Evaluation of the Tsunami hazard resulting from meteorite impacts: Specification of wave characteristic by numerical modeling**

Email: [kai.wuennemann@museum.hu-berlin.de](mailto:kai.wuennemann@museum.hu-berlin.de)

Public awareness of the tsunami hazard is high since the catastrophic event on Boxing Day 2004, when a large tsunami wave devastated wide-ranging coastal areas. Besides earthquakes and submarine slope failure or landslides the impact of an extraterrestrial body into an ocean may give rise to a tsunami wave which is beyond the scale of waves released by other mechanisms. Meteorite impact is a frequent geological process on all planetary bodies in the solar system that is well documented by the heavily cratered surface of the Moon. Even though there are only 170 impact structures known on Earth, the impact process was equally as violent. One reason for the fragmentary cratering record of the Earth is that 70% of its surface is covered by oceans, implying that most impact events occur in water. Besides the general environmental perturbations of meteorite impact, the strike of an asteroid or comet into the ocean is accompanied by the generation of huge tsunami waves. To investigate the consequences of impact induced large waves we have developed a suite of numerical models dealing with the generation and propagation of tsunami waves. First, we conducted hydrocode simulations of the impact process to account for the generation mechanism of waves. Subsequently, we used these data as input for a separate model to compute the propagation of the wave train over a given bathymetry and the run-up on the coast. The modeling shows that the initial wave characteristic strongly depends on the water depth at the point of impact. Because the generated waves

feature crucial dispersive and nonlinear effects, the wave characteristic (wave length, amplitude, travel velocity) changes significantly while traveling away from the impact site. Short waves with large amplitudes tend to break during shoaling far away from the coast line. In contrast, long waves with smaller amplitudes reach run-up heights of several meters depending on the slope of the shelf and the amplitude and wave-length. Therefore, we conclude that impacts of even small objects several hundreds of meters in diameter, which happen to strike the Earth much more often than very large meteorites kilometers in size, can cause severe destruction by the induced tsunami waves along coast lines even thousands of kilometers away from the actual impact site.

Sara Schade (Museum für Naturkunde, Humboldt Universität zu Berlin, Invalidenstraße 43, 10115 Berlin, Germany) , Kai Wünnemann

## **Analysis on meteorite crater size – recent advances in numerical modeling of specific target properties**

Email: [sara.schade@museum.hu-berlin.de](mailto:sara.schade@museum.hu-berlin.de)

Meteorite craters are an important subject for surface dating of planets and impact statistics. The identification and counting of impact structures lead to a relative age of a specific surface - more craters mean older surfaces and vice versa. For the Moon there even exist calibrations with absolute dating of lunar rocks. However, to transfer these findings from the Moon to other planetary surfaces and to compare the lunar crater record with the impactor flux coming from the asteroid belt, a good knowledge of the cratering process is essential. The most fundamental gap in our understanding of impact crater formation is the lack of a quantitative relationship between the properties of the impacting object (e.g. size, velocity, angle) and the size and shape of the resulting crater. This is due to the fact that crater size and shape do not only depend on projectile characteristics, but also on gravity and the properties of target rocks (strength, density, porosity), which aggravates the determination of related scaling laws. In addition, subsequent geological activities, for instance on Earth, makes it more complicated to determine the original crater depths, and diameters. Numerous experimental and numerical methods were developed to aid the reconstruction of former crater dimensions and conditions of their generation. Explosion tests and laboratory shock experiments could yet not produce satisfying analogies to impact crater dimension, especially concerning the crater geometries. Thus, numerical methods (hydrocodes) specialized on impact cratering were developed, such

as iSALE, a multi-material multi-rheology code that allows the simulation of deformational processes over a wide range of strain-rates and velocities. Recent advances of iSALE refer to replicating petrophysical and mechanical properties of rocks, such as porosity and strength including acoustic fluidization. The latter is a process, whereat material is affected by strong vibrations due to shock waves, and behaves therefore like a Newtonian fluid with a certain viscosity. This process has great effect on final crater morphology. Another important aspect in this case is the target rock porosity, which is not only common for terrestrial surface rocks, but also the lunar surface, for instance, is covered by a several meter thick porous Regolith layer generated by meteorite impacts that have been constantly bombarding the lunar surface for more than 4 billion years. The process of pore closure consumes energy (plastic work) increasing the amount of irreversible work that is done due to shock wave compression and thereby evolving higher post-shock temperatures and internal energies. On macroscopic scale this results in smaller craters in porous targets, and therefore distorts crater statistics. To consider pore closure in numerical simulations we developed a strain-based porosity model. Results so far provide new scaling laws for craters size as a function of impact energy in porous targets, which were tested against impact experiments on sand and sandstone targets. Simulations using the strain-based porosity model showed that the effect of porosity on crater size re-

duction appears to be uniformly for all projectile sizes and different gravitational accelerations, and that mostly variations of the internal friction cause changes for this relationship. Experiments with same impact conditions in dry and wet sand resulted in different crater sizes also, which seem to be influenced by an interplay between porosity and internal friction. Further related investigations and verifications are in progress.

Dirk Elbeshausen (Museum für Naturkunde, Humboldt-Universität Berlin) , Kai Wünnemann

## **Numerische Modellierung von Meteoriteneinschlägen: Einfluss des Einschlagwinkels auf die Kraterentwicklung**

Email: [dirk.elbeshausen@museum.hu-berlin.de](mailto:dirk.elbeshausen@museum.hu-berlin.de)

Meteoriteneinschläge haben das Aussehen planetarer Oberflächen geprägt. Für die Erforschung der Entwicklungsgeschichte unseres Sonnensystems ist das Verständnis von Einschlags- und Kraterbildungsprozessen somit von fundamentaler Bedeutung. Neben der (geophysikalischen) Erkundung von existierenden Meteoritenkratern, Labor- und Feldexperimenten sind numerische Simulationen ein wichtiges Hilfsmittel dieses Forschungszweiges. Aufgrund des hohen Rechenaufwandes sind dreidimensionale Berechnungen der gesamten Kraterentwicklung bislang nur selten durchgeführt worden. Da diese allerdings zur Analyse schiefwinkliger Einschlagprozesse unerlässlich sind, wurde ein Simulationscode entwickelt, der selbst hohen numerischen Ansprüchen mit bestmöglicher Effizienz begegnet und somit detaillierte Studien ermöglicht. Zur Untersuchung des Einflusses von Einschlagwinkel und -geschwindigkeit, Projektilgröße, Material sowie weiteren Eigenschaften auf die Kraterbildung wurden eine Reihe von Rechnungen durchgeführt. Hier sollen erste Ergebnisse dieser Studie präsentiert und Zusammenhänge aufgezeigt werden. Bestehende Skalierungsgesetze für vertikale Impakte wurden um den Einfluss des Einschlagwinkels erweitert, so dass ein quantitativer Vergleich unterschiedlicher Kraterbildungsprozesse erleichtert wird. In weiteren Studien soll erforscht werden, ob aus der Form existierender Krater Rückschlüsse auf Einschlagwinkel und -richtung gezogen werden können. Hauptaugenmerk dieser Untersuchung wird dabei auf der Entwicklung und

Form des Kraterrandes sowie eines möglichen, durch einen von Gravitation oder Materialversagen angetriebenen Kraterkollaps entstehenden, Zentralberges liegen.

---

## **2.18 RD - Georadar**

Norbert Blindow (Institut für Geophysik, Universität Münster)

## **The University of Münster Airborne 30MHz Ice Radar (UMAIR)**

Email: [blindow@earth.uni-muenster.de](mailto:blindow@earth.uni-muenster.de)

The University of Münster Airborne Ice Radar (UMAIR) operating from a helicopter has been developed by the Institute for Geophysics in Münster. It is designed for the sounding of temperate ice (ice at pressure melting point) using a short 30 MHz-pulse. It can be applied for cold ice and general GPR purposes as well. Temperate ice is present in Alpine glaciers, on Subantarctic and Arctic ice caps and in the ice fields of Patagonia and Alaska. It also forms most of the ice cap of King George Island, which is the focus of our present research.

The UMAIR system may operate from any helicopter capable of carrying a sling load of 200 kg and offering 3A@28V non-essential power to back up the control unit. The antenna containing transmitting and receiving electronics is situated 20 m below the hook and is connected to the control unit via fibre optic cables. The antenna is stabilized by fins keeping it horizontally and in flight direction at a speed of 60 knots. Minimum flight altitude is 50 m. A dual frequency GPS receiver on the antenna records the position of the platform.

The antenna consists of two sections each 4m long, 2m wide, and 1m high separated by spacers and is made of steel profile framework. The framework acts as reflector and shield for the transmitting and receiving dipoles at the lower side. The antenna was optimized using FDTD simulations. Transmitting and receiving electronics are situated inside and on top of the antenna framework. They consist mainly of a 5kV MOSFET pulse generator and a 400MHz A/D-converter with 12bit resolution and typ. 256-fold stacking maintaining a rate of 8 scans

per second. A calculation of system performance yields up to 500m exploration depth in temperate ice.

The evaluation of a flight test shows that the measured performance (pulse shape and amplitudes) agrees well with the calculated parameters. In 2007, the system will be used to survey parts of the Patagonian Icefield, Chile, and the ice cap of King George Island, Antarctica.

Rita Streich , [Jan van der Kruk](mailto:jvdkruk@aug.ig.erdw.ethz.ch) (ETH Zurich)

## Characterizing a GPR-antenna system using near-field electric field measurements

Email: [jvdkruk@aug.ig.erdw.ethz.ch](mailto:jvdkruk@aug.ig.erdw.ethz.ch)

In modeling or imaging ground-penetrating radar (GPR) data, antennas are often approximated as infinitesimal dipoles. This approximation is reasonable at distances much larger than the antenna lengths. However, the targets for GPR surveys are often located at distances no further than a few times the antenna lengths. At such distances, theoretical radiation patterns of infinitesimal dipoles may not be adequate approximations [1]. Yet, precise knowledge of radiation patterns is important for accurate imaging or inversion techniques. Such techniques require analytic descriptions of the antennas that can be evaluated with little computational effort.

It is difficult to measure radiation patterns directly. However, they can be computed if the current distributions on the antennas are known. We introduce a method for determining current distributions on resistively loaded Wu-King type antennas from sparse measurements of the electric field in the antennas' near-field. We adopt a parametric formulation of current flow on generalized Wu-King type antennas [2, 3], which expresses the current in terms of the input voltage pulse, a scaling factor that describes the resistive load, and the velocity at which the input pulse travels along the antenna. To simulate the electric field the antenna emits, we model the antenna as a line of infinitesimal dipole elements, each of which is characterized by its position along the antenna and the current at this position. The total emitted electric field equals the sum of the contributions from the dipole elements.

We measure electric field data at the base of

the antenna using a small electric field probe and an oscilloscope. A cascaded inversion technique was developed to determine the antenna characteristic parameters and input voltage wavelet that best explain the measured data. Because the current distribution only depends on few parameters, relatively sparse electric-field measurements suffice to obtain stable inversion results. Comparisons of the modeled and measured electric-field data show that our inversion method yields reasonable results and our antenna model describes well the tested antennas. The model provides a means to correct for the effects of finite-length antenna radiation patterns in migration/imaging algorithms. By modifying the description of the current distribution, our method may be adapted for various antenna types.

[1] Arcone, S.A., 1995, Numerical studies of the radiation patterns of resistively loaded dipoles: *Journal of Applied Geophysics*, 33, 39-52. [2] Wu, T. T. and King, R. W. P., 1965, The cylindrical antenna with nonreflecting resistive loading: *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, AP-13, 369-373. [3] Shen, L.-C. and Wu, T. T., 1967, Cylindrical antenna with tapered resistive loading: *Radio Science*, 2, 191-201.

Jan Igel (GGA-Institut, Hannover)

## Bestimmung der kleinräumigen Variabilität des Dielektrizitätskoeffizienten von Böden und ihr Einfluss auf Georadar (GPR) Messungen

Email: [jan.igel@gga-hannover.de](mailto:jan.igel@gga-hannover.de)

Der Boden und v.a. der Oberboden zeichnen sich durch eine sehr hohe räumliche Heterogenität aus. Der Dielektrizitätskoeffizient (DK) wird maßgeblich vom Wassergehalt bestimmt. Der Boden stellt bei vielen geophysikalischen Untersuchungen eine störende Schicht dar, deren Einfluss oft nicht berücksichtigt wird. In letzter Zeit ist der Boden selbst immer stärker zum Gegenstand geophysikalischer Untersuchungen geworden, da er für viele Prozesse einen wichtigen, wenn nicht entscheidenden, Einfluss hat, z.B. für den Wasserhaushalt. Die Heterogenität der elektromagnetischen Parameter des Oberbodens hat einen großen Einfluss auf Georadar Messungen. Der Einfluss des DK wird anhand eines Feldmessbeispiels untersucht:

- **Bestimmung der räumlichen Verteilung in situ:**

Der DK wird in situ mit der Bodenwelle des GPR bestimmt. Klassische Methoden besitzen jedoch nicht die benötigte hohe räumliche Auflösung. Es wird ein Verfahren vorgestellt, das zwei Empfangsantennen verwendet und das damit eine laterale Auflösung von etwa 10 cm in Profilrichtung besitzt. Mit dem schnellen Verfahren können große Areale hochauflösend und flächendeckend kartiert werden. Auf der untersuchten Fläche zeigt die DK-Verteilung eine hohe räumliche Variabilität und ein regelmäßiges Muster, das vermutlich auf die frühere Bewirtschaftung zurückgeführt werden kann.

- **Statistische Analyse der Messdaten:**

Die flächenhafte Verteilung wird mittels geostatistischer Methoden untersucht. Die DK-Werte sind annähernd normalverteilt ( $\epsilon_r = 5.3 \pm 0.85$ ). Die räumliche Verteilung zeigt eine starke Anisotropie, die minimale und maximale Korrelationslänge ist  $a_{min} = 0.3$  m und  $a_{max} = 1.5$  m.

- **Statistische Simulation und Finite Differenzen (FD) Modellierung:**

Die abgeleiteten statistischen Parameter werden dazu verwendet, um mittels einer geostatistischen Simulation zufallsverteilte Medien zu erstellen, deren Eigenschaften denen im Feld entsprechen. Diese werden für FD-Simulationen der elektromagnetischen Wellenausbreitung verwendet und es wird exemplarisch dargestellt, wie sich oberflächennahe Heterogenitäten des Bodens auf Georadar Messungen auswirken.

Anhand der oben aufgeführten Vorgehensweise können realistische synthetische Radargramme erstellt werden. Diese liefern die Streuung, die durch kleinräumige Heterogenitäten verursacht werden und sind somit eine wichtige Zusatzinformation für die Bewertung von Interpretationen von Messergebnissen.



Jens Meßinger (TU Bergakademie Freiberg)

## Artefaktarme Georadar-Tomographie

Email: [messinger@geophysik.tu-freiberg.de](mailto:messinger@geophysik.tu-freiberg.de)

Tomographische Untersuchungen mit Hilfe des Georadars haben in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Bei der Auswertung typischer Felddaten ergeben sich insbesondere aufgrund fehlerbehafteter Daten und unzureichender Überdeckung Schwierigkeiten. Aus diesem Grund kommen in der Regel Inversionsverfahren zum Einsatz, die eine implizite oder explizite Regularisierung beinhalten. Von besonderer Bedeutung ist hierfür die Festlegung des jeweiligen Regularisierungsparameters. Die Präsentation stellt für drei verbreitete Inversionsverfahren verschiedene Möglichkeiten vor, diesen Parameter zu bestimmen. Folgende Punkte sind dabei von Interesse:

- Abweichung des berechneten Parameterwertes vom optimalen Wert,
- Stabilität der Parameterbestimmung, d.h. führen geringe Parametervariationen auch zu geringen Änderungen im Ergebnis,
- Komplexität und Aufwand der Berechnung und
- liefert die Inversion ein artefaktarmes Ergebnis.

Insbesondere die Beurteilung der erhaltenen Inversionsergebnisse erfolgt dabei unter Verwendung eines synthetischen Modells. Als Kriterien werden hierfür zum einen Laufzeitabweichungen und zum anderen die Abweichung zwischen dem berechneten Tomogramm und dem synthetischen Modell betrachtet.

Andreas Fettig (TU Clausthal, Institut für Geophysik)

## Qualitative und Quantitative Bewertung minimalphasiger Äquivalente

Email: andreas.fettig@gmx.net

Zweiseitig rekursive Filter - TSR-Filter - gehören als Formungsfilter zur Klasse der rationalen Systeme. Die Stabilität dieser Systeme wird maßgeblich durch die mathematische Invertierung einer Zeitreihe bestimmt. Besitzt diese Zeitreihe minimalphasige Eigenschaften, führt dies zu einer stabilen und effektiven Filterung von z.B. seismischen oder radarmetrischen Sektionen. Die in solchen Sektionen enthaltenden Informationen können so durch eine Signalverformung eine wesentliche Verbesserung in ihrer Erkennbarkeit erfahren.

Eine objektive Bewertung der Minimalphasigkeit verlangt die Definition sinnvoller Kenngrößen. Diese sollten sowohl unabhängig vom Signaltyp, als auch anschaulich interpretierbar und charakteristisch für die Minimalphasigkeit sein. Die Berechnung minimalphasiger Äquivalente wird im Zeitbereich durch den Levinson-Algorithmus ermöglicht. Dieser löst ein lineares Gleichungssystem, bestehend aus einer Autokorrelationsfunktion in Form einer Töplitz-Matrix, einer unbekanntenen Koeffizientenreihe sowie der Dirac-Funktion als Lösungsvektor. Autoren, wie J.Claerbout und E.A.Robinson bieten dafür iterative Algorithmen an. Alternativ kann das Äquivalent auch im Frequenzbereich mit Hilfe der Hilbert-Transformation berechnet werden. Durch Parameter, wie das Zeitinkrement, die Anzahl der Koeffizienten oder eine Fensterung, wird die Qualität des Ergebnisses bestimmt. Der Levinson-Algorithmus bietet zusätzlich noch die Möglichkeit, durch Störanteile in der Töplitz-Matrix und eine zeitliche Verzögerung in der Koeffizientenreihe beeinflusst werden zu können.

In der Anwendung wird zunächst das analytisch berechenbare und stetige Signal nach Gabor betrachtet. Dieses ist in Frequenz und Form dem Quellsignal des Georadars (100MHz, nicht abgeschirmt) nachempfunden. Des Weiteren findet auch ein Sweep-Signal sowie das tatsächliche Quellsignal des Georadars Verwendung. Die Parameter der Algorithmen werden in einem breiten Wertebereich variiert. Dabei ist zwischen Variablen zu unterscheiden, welche im Wesentlichen den Algorithmus steuern und solchen, die das Signal in seiner Form verändern, wie z.B. Störanteile oder eine Fensterung. Das Optimum in den Parametern wird über Kenngrößen definiert, welche die charakteristischen Eigenschaften der Minimalphasigkeit beschreiben. Dazu gehören u.a. die Signallänge und -auflösung. Einen weiteren quantitativen Kontrollwert liefert die Faltung des Äquivalents mit der Koeffizientenreihe aus dem Levinson-Algorithmus und ergibt in der Theorie eine Dirac-Funktion. Eine qualitative Bewertung liefert schließlich die Verteilung der Pol-/Nullstellen im  $z$ -Bereich.

Es zeigt sich, dass die Definition der Minimalphasigkeit nur bei einer qualitativen Betrachtung eindeutig definiert ist. Eine quantitative Bewertung liefert eine breite Palette an minimalphasigen Äquivalenten. Diese werden im Wesentlichen beeinflusst durch das Zeitinkrement, die Anzahl der Koeffizienten sowie hinzugefügten Störanteilen in der Größenordnung weniger Promille. Die Berechnung eines Optimums bzgl. der Minimalphasigkeit kann mit nahezu beliebiger Genauigkeit durchgeführt werden. Der notwendige Grad an Genauigkeit wird

sich aber stets an zwei Punkten orientieren müssen: den Grenzen der digitalen Darstellung von Zahlen sowie der Stabilität der zweiseitig rekursiven Filterung.

---

## **2.19 SM - Seismik**

Stefan Dümmong (Universität Hamburg) , Kristina Meier , Dirk Gajewski , Christian Hübscher

## **Geschwindigkeitsmodellbildung: Ein Vergleich zwischen Prestack Stereotomographie und NIP-wave Tomographie am Beispiel der Messinischen Evaporite**

Email: stefan.duemmong@zmaw.de

Für ein genaues Tiefenabbild aus dem seismischen Processing ist die Geschwindigkeitsmodellbildung der entscheidende Faktor. Im Rahmen dieses Vortrags werden zwei verschiedene Grid-Tomographie Verfahren am Beispiel eines Datensatzes aus dem östlichen Mittelmeer verglichen, zum einen die Prestack Stereotomographie (Billette, 1998) und zum anderen die NIP-wave Tomographie (Duvencak, 2004).

NIP-wave Tomographie basiert auf den Ergebnissen des CRS Stacks (Mann, 2002), den sogenannten kinematischen Wellenfeldparametern und somit auf der hyperbolischen Laufzeitapproximation zweiter Ordnung. Die Prestack Stereotomographie hingegen beschreibt die Laufzeitkurve durch lokale lineare Steigungen, welche die Laufzeitkurve approximieren. Als Kriterium für die Genauigkeit der Ergebnisse wird die horizontale Ausrichtung der Reflexionen im Common Image Gather (CIG) herangezogen. Je flacher die Reflexionen angeordnet werden können, desto besser beschreibt das Geschwindigkeitsmodell die Daten.

Die tiefenmigrierten Daten zeigen eine insgesamt 1,5 km mächtige Abfolge von sechs Evaporitsequenzen, die von einer ca. 0,5 km dicken Schicht von Pliozänen-Quartären Sedimenten überlagert sind. Vier Evaporitsequenzen sind seismisch transparent und zwei Sequenzen zeigen subparallele Reflexionen. Die Ursache für die intra-evaporitischen Impedanzkontraste kann in wechselnden Evaporitfazies, oder in eingeschalteten klastischen Sedimenten liegen. Alle sechs Sequenzen sind bereits während

der Ablagerungsphase unabhängig voneinander durch seitliches Kriechen der Evaporite gefaltet worden. Die gewonnenen Ergebnisse zeigen, dass beide Grid-Tomographie Verfahren Probleme in der Beschreibung eines starken vertikalen Geschwindigkeitskontrastes haben (z.B. an der Oberkante der Messinischen Evaporite). Dies wird durch die mathematische Beschreibung der Geschwindigkeitsfelder in den Tomographieverfahren hervorgerufen. Die laterale Auflösung scheint in der Prestack Stereotomographie etwas besser zu sein, welches mit der lokalen Beschreibung der Laufzeitkurven zusammenhängen kann.

Die hier vorliegenden Resultate sollen für einen IODP-Antrag zur Bohrung der Messinischen Evaporite herangezogen werden. In diesem Rahmen soll das bestmögliche Geschwindigkeitsfeld und Tiefenabbild möglicher Bohrlochlokationen produziert werden.

Rüdiger Misiek (DMT GmbH) , Rainer Tiehle , Hellfried Petzold , Tobias Karp

## **High resolution 3D-seismic survey for the exploration of a an open pit brown coal mine**

Email: [ruediger.misiek@dm.de](mailto:ruediger.misiek@dm.de)

As the resources of brown coal decrease and the request for energy still increases significantly, it becomes more and more important to explore even more complex geological structures for open pit mines. Generally, open pits are explored by a huge amount of drillings to get a clear picture of the lignite seam and to solve the static problems when placing the open pit machines. As the geological structure becomes more complex and the mine is located in a nature protection area in Brandenburg, Germany, it is not allowed to drill so many holes as well it becomes inefficient to increase the density of drillings and more efficient to explore the target with geophysical methods. Although a gravimetric survey over the whole area exists and a few 2D-seismic profiles were recorded, only non unique pictures of the geological structures of the subsurface could be obtained.

To overcome these problems, a 3D-seismic survey was designed and performed with the aim to get a clear picture of the sub-surface down to a depth of approximately 100 m over an area of approximately 0.45 km<sup>2</sup>. This was the first time that a 3D-seismic survey has been performed to explore a lignite mine. A dense grid with a line spacing of 20 metre and a shot point and receiver point spacing of 5 m was chosen, which resulted in more than 4500 shot points. To achieve the high resolution, the mini-vibrator MHV III was used as a source emitting frequencies up to 250 Hz. Due to environmental requirements, it was not possible to use the mini-vibrator at all shot positions. To achieve the full coverage of approx. 25, the Vakimpak,

an accelerated weight drop, was used. This allows for shooting all shot point positions, but requires a sophisticated processing, as the different sources and their emitted spectra need to be taken into account.

Furthermore, due to the environmental aspects of this area, it was required to perform the survey in a very limited time frame. Using the Sercel 408/428 as the acquisition system with 1500 channels on the ground, it was possible to perform the survey within only 13 acquisition days.

A quality control of the acquired data was performed on-site. Additionally, a brute stack processing was performed showing a very good data quality and giving a first impression of the subsurface.

Survey design and parameters with respect to the specific features of the acquisition area will be shown. Furthermore, difficulties and constraints of the realisation of the field measurements will be discussed. First processing and interpretation results will be shown. An outlook will be given of possibilities and chances when using 3D-reflection seismic data for the exploration of open pit brown coal mines.

Florian Bleibinhaus (LMUniv. München, Dept f. Geowiss.) , W. Ryan Lester , John Hole

## **Applying full waveform inversion to refraction seismic surveys**

Email: bleibi@geophysik.uni-muenchen.de

A frequency domain waveform tomography of Pratt [1999] was applied to the data of two crustal refraction and wide-angle reflection seismic surveys. The theory for this method was derived by Tarantola [1984] for the acoustic approximation. The gradient of the misfit function is computed by correlating the wavefields of a forward propagated source with the back-propagated residuals. Sensitivity kernels need not to be computed explicitly. All acoustic phases are taken into account. A major advantage of frequency-domain waveform inversion is the ability to reconstruct a model from coarse to fine wavelengths. A starting model can be improved for increasingly higher frequencies, thus mitigating the inherent nonlinearities of waveform tomography. The two data sets were acquired across the plate-bounding San Andreas Fault (SAF), California, and the Chesapeake Bay Impact (CBI) structure, Virginia. Both long-offset surveys (46 km and 30 km) are similar in terms of geometry. Sparse (0.2 – 1.5 km spaced) explosion seismic sources were recorded on a stationary receiver line at 50 m geophone spacing. The CBI data were acquired in flat terrain over relatively homogenous sedimentary strata and show only minor static and amplitude variations. In contrast, the survey across the SAF shows large static shifts due to rough topography, and huge variations in amplitude due to attenuation. Various aspects of dealing with amplitude variations and the impact of noise on the inversion results will be discussed. Real amplitudes of the CBI data were scaled to match synthetic 2D spreading. For the SAF data, only the phases were inverted. To account for noise in the

SAF data, weighting factors were derived from the similarity of the phases at each frequency in the dense receiver domain. The resulting velocity models show a clear improvement in resolution as compared to traveltime tomography models. Spatial aliasing and lack of an attenuation model for the SAF data seem to be the main factors limiting the inversions to frequencies below 15 Hz.

Daniel Chalbaud (Freie Universität Berlin) , Stefan Buske

## **Kirchhoff prestack depth migration of the CINCA-95 wide-angle dataset at 21 degrees S, North Chile**

Email: [daniel@geophysik.fu-berlin.de](mailto:daniel@geophysik.fu-berlin.de)

CINCA-95 was a combined offshore-onshore research project to investigate the evolution and structure of the Chilean subduction zone between 19 deg S and 26 deg S including near-vertical as well as wide-angle seismic experiments. We present the application of Kirchhoff prestack depth migration to the amphibious wide-angle subset at 21 deg S, with the aim to obtain new images of the corresponding seismogenic coupling zone.

The velocity model used for migration is a simplified merged version of the CINCA-95 and ANCORP-96 velocity models which incorporates the most relevant structural features.

The migration result shows a strong reflector at approximately 25 km depth and 160-190 km offset which can be interpreted as a reflection within the upper crust. The Nazca Plate itself is visible as a reflector subducting at an angle of 18 deg approximately between 20-30 km depth. Additionally, an offset range analysis was performed by separating the data into short, intermediate and far offsets and by migrating each range separately. The migrated sections for the short and intermediate offsets image a couple of intracrustal reflections between approximately 15 and 25 km depth whereas the far offsets result shows the Nazca Plate as two parallel events similar to the full-offset section.

In summary the section provide a first insight into the structural architecture of this seismogenic coupling zone which has not been imaged before.



Oliver Gaede (Freie Universitaet Berlin) , David Dewhurst , Sergei Stanchits , Serge Shapiro

## Stress Sensitivity of Crystalline and Sedimentary Rocks

Email: gaedeo@geophysik.fu-berlin.de

Understanding the stress dependence of elastic rock properties is an essential tool for interpreting 4D seismic data, and has therefore various applications in the earth sciences and the resource industries. We compared the stress dependence of ultrasonic velocity measurements for three rock samples with different microstructures. We fitted the velocity measurements through a four parametric exponential equation that was first used by Eberhart-Phillips et al. (1989). The physical meaning of the four parameters can be derived from first principles through the Stress Sensitivity approach, which takes stiff and compliant pores into account (Shapiro, 2003).

In order to interpret the ultrasonic velocity measurements, we incorporated microstructural analysis of the three rock samples. The rock samples were specifically chosen for validation of the Stress Sensitivity approach. We used a low porosity granite as a rock that satisfies the assumptions of the Stress Sensitivity approach, a clean sandstone, which strains the assumption of low porosity and a clay-rich sandstone, that no longer can be considered as a homogenous rock.

Interpretation of the velocity measurements is straight-forward for the granite. We show that the influence of stiff pores should not be neglected, even though it is small compared to the influence of compliant pores. Surprisingly even porosities above 20% do not limit the interpretive power of the Stress Sensitivity approach. For the granite and the clean sandstone

we were able to obtain a universal parameter that describes the stress sensitivity of both, the *P*- and *S*- wave velocities. The influence of a high clay content does complicate the interpretation of our experimental results and an additional parameter that accounts for the clay maybe needed.



# Literaturverzeichnis

- [1] Eberhart-Phillips, D. and Han, D-H. and Zoback, M.D. (1989). Empirical relationship among seismic velocity, effective pressure, porosity, and clay content in sandstones. *Geophysics*, 54(1):82-89.
- [2] Shapiro, S.A (2003). Piezosensitivity of porous and fractured rocks. *Geophysics*, 68(2):482-486

Daniel Köhn (Freiberg, Institut für Geophysik, TU Bergakademie Freiberg) , Thomas Bohlen

## Elastische Full-Waveform-Inversion im Zeitbereich

Email: [daniel.koehn@tu-freiberg.de](mailto:daniel.koehn@tu-freiberg.de)

Durch die numerische Lösung der elastischen Wellengleichung läßt sich, für eine vorgegebene Verteilung der Materialparameter im Untergrund, das seismische Wellenfeld berechnen. In der angewandten Geophysik interessiert man sich jedoch für den umgekehrten Fall. Aus einem gemessenen Wellenfeld soll ein möglichst realistisches Modell des Untergrundes abgeleitet werden. Dieses Inversionsproblem ist hochgradig nichtlinear und meist schlecht konditioniert.

Eine Lösung des Problems läßt sich iterativ mit Hilfe des Full-Waveform-Algorithmus (Tarantola (1984), Tarantola (1986)) gewinnen, bei dem ausgehend von einem Startmodell in jedem Iterationsschritt die elastischen Materialparameter, d.h. die Lamé Parameter  $\lambda$ ,  $\mu$ , sowie die Dichte  $\rho$ , verbessert werden. Jeder Iterationsschritt besteht aus einer Vorwärtsmodellierung des aktuellen Modells, sowie einer Rückwärtspropagation der Datenresiduen, d.h. der Differenz zwischen modellierten und gemessenen Daten. Die Korrelation des vorwärts- und rückwärtspropagierten Wellenfeldes an jedem Raumpunkt ergibt eine Korrektur der elastischen Materialparameter. Durch die Einbeziehung sämtlicher Wellenfeldinformationen lassen sich auch Multipeln, Refraktionen, oder Oberflächenwellen in den Inversionsprozess einbeziehen. Die seismische Modellierung läßt sich sowohl im Zeitbereich, z.B. mit Finiten Differenzen, als auch im Frequenzbereich (Sirgue & Pratt (2004)) durchführen. Das Zeitbereichsverfahren besitzt den Vorteil, dass sich der Code einfach und effizient parallelisieren läßt, so daß auch 3D Probleme mit Hilfe von Parallelrechnern gelöst wer-

den können.

Im folgenden soll unsere erste Implementierung eines parallelen 2D elastischen Full-Waveform-Inversions Codes im Zeitbereich anhand von drei synthetischen Testproblemen demonstriert werden: Einer einfachen kugelförmigen Geschwindigkeitsanomalie, einem komplexen Zufallsmedium, sowie einem einfachen geologischen Modell. Hierbei soll insbesondere die Abhängigkeit des Inversionsergebnisses vom Startmodell, sowie die Auflösung des Inversions-Verfahrens demonstriert werden.

Ziel der weiteren Untersuchungen ist die Implementierung eines viskoelastischen 3D Full-Waveform-Inversions Codes, sowie die Anwendung auf Meßdaten.

### Literatur

- Tarantola, A. 1984 Inversion of seismic reflection data in the acoustic approximation. *Geophysics* 49, 1259–1266.
- Tarantola, A. 1986 A strategy for nonlinear elastic inversion of seismic reflection data. *Geophysics* 51, 1893–1903.
- Sirgue, L. & Pratt, R. 2004 Efficient waveform inversion and imaging: A strategy for selecting temporal frequencies. *Geophysics* 69, 231–248.

Tobias Jokisch (Institut f. Geowissenschaften, Abt. Geophysik, CAU Kiel) , Christof Müller , Susanne Wölz , Gert Wendt , Wolfgang Rabbel

## **Aspekte der ultrahochauflösenden 3D-Seismik mit einem parametrischen Schallstrahler**

Email: jokisch@geophysik.uni-kiel.de

Im Rahmen des vom BMBF geförderten SEAMAP-3D Projektes wurde ein Messsystem für die Archäologie entwickelt, mit dem im flachmarinen Bereich hochauflösende 3D-seismische Messungen durchgeführt werden können. Ziel ist es, die oberflächennahe Stratigraphie abzubilden und grabungswürdige Strukturen zu lokalisieren.

Diese Zielsetzung erfordert ein breites seismisches Frequenzband, welches wir durch den simultanen Einsatz zweier unterschiedlicher Quellen erhalten. Neben einer omnidirektionalen elektrodynamischen Boomerquelle (500-6000 Hz), verwenden wir einen parametrischen Schallstrahler, der die Bandbreite um Frequenzen von ca. 6000-24000 Hz ergänzt. Dabei wird unter Ausnutzung des parametrischen Effektes im Nahfeld ein stark gebündeltes Signal geformt, welches im Fernfeld im wesentlichen auf die Hauptkeule mit einem Öffnungswinkel von 3°- 4° beschränkt ist. So wird trotz hoher Frequenzen und kleinem Schalldruck eine Eindringung ins Sediment erreicht, die, je nach Sedimenttyp, einige Meter betragen kann.

Durch phasenverschobene Ansteuerung der einzelnen Piezoelemente des Schallstrahlers wird der Impuls in verschiedene vorgegebene Richtungen abgegeben. Eine Sequenz aus sieben Schallstrahlerschüssen mit unterschiedlichen Abstrahlwinkeln wird dabei jeweils nach einem Boomerschuss (Schussrate 3 Hz) ausgesendet. Die Aufzeichnung der Daten erfolgt schliesslich über ein 12- bis 32-kanaliges 3D-Hydrophonarray.

Der Einsatz der parametrischen Quelle für 3D-Messungen birgt neben dem Vorteil der höheren vertikalen Auflösung im oberflächennahen Bereich jedoch auch einige Schwierigkeiten. So vervielfacht sich die Datenmenge durch die erforderliche sequentielle Abtastung des Untergrundes um die Anzahl der Schüsse. Bei einem ein Hektar grossen Messgebiet können über 400 GB an seismischen Daten anfallen, weshalb eine Speicherung von Zwischenschritten in der Datenbearbeitung mit den gegebenen Mitteln nicht möglich ist. Ebenso muss bei der Bildgebung auf eine interaktive Geschwindigkeitsanalyse verzichtet werden.

Der von uns implementierte Bildgebungsalgorithmus nutzt die vorgegebenen Abstrahlwinkel der Quelle, um die Apertur im Vorhinein bei der Berechnung zu beschränken.

Bei Messungen in Iskele/Türkei wurde erstmals mit beiden Quellen ein 3D-Datenvolumen aufgenommen, aus dem in diesem Beitrag verschiedene Datenbeispiele gezeigt werden. Eine kombinierte Darstellung beider Datensätze wird angestrebt, um die effektiv erreichbare Bildbandbreite zu erhöhen.

Tobias Müller (Karlsruhe/ Geophysikalisches Institut ) , Julianna Toms

## Seismic signatures of partially saturated rocks with fractal pore fluid distribution

Email: tobias.mueller@gpi.uni-karlsruhe.de

A key issue in modern reservoir monitoring technology is the characterization of the pore-fluid distribution in a reservoir. Experimental and numerical evidence shows that the geometrical distribution of the different fluid phases within the pore space is inherently complex. Numerical studies show that waves propagating in patchy saturated rocks are significantly attenuated and many earth scientists find that a fractal distribution of the fluid patches results in realistic seismic signatures. However, there is no analytical model of wave attenuation and dispersion for these types of pore fluid distributions.

It is the purpose of this study to infer the dependencies of wave attenuation and phase velocity dispersion as a function of the pore fluid saturation assuming that the fluid patches are of fractal nature. Using the results of Müller and Gurevich (2005) and Toms et al. (2006) we develop a model of elastic wave attenuation and dispersion for random patchy saturation in which the randomness is characterized by a spatial correlation function of the von Kármán type.

Many studies show that reservoir heterogeneity is well modeled using a fractal distribution with Hurst exponents ranging between  $|v| < 0.5$ . At the same time there is experimental evidence that in field experiments the velocity-saturation relationship is close to the lower (Wood) bound despite the existence of fluid patches. In this paper we show that both observations can be consistently modeled using the proposed theory. In particular, the more the

more fractal-like the heterogeneity (Hurst exponent becoming smaller and thus the fractal surface area becoming larger) the closer is the velocity-saturation curve to the lower bound. That is because in fractal media the high-frequency regime is never realizable and the pore pressure equilibration process takes place at all length scales. This behavior results in a quasi frequency-independent attenuation within a limited frequency range which is also consistent with seismic observations where so-called ‘constant-Q models’ are frequently used.

### Acknowledgements

This work was kindly supported by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (contract MU 1725/1-2)

### References

- Müller, T.M., and Gurevich, B., 2005, A first-order statistical smoothing approximation for the coherent wave field in random porous media, *J. Acoust. Soc. Am.*, 117, 1796–1805
- Toms, J., Müller, T.M., Ciz, R. and Gurevich, B., 2006, Comparative review of theoretical models for elastiv wave attenuation and dispersion in partially saturated rocks, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 26, 548–565

Tobias Müller, Miroslav Brajanovski (Geophysik Uni Karlsruhe)

## Characteristic frequencies of seismic attenuation in fractured porous media

Email: tobias.mueller@gpi.uni-karlsruhe.de

One of the main intrinsic seismic wave dissipation mechanisms is associated with the wave-induced flow of the pore fluid. This effect occurs in a heterogeneous porous medium when a passing wave induces a local pore pressure gradient on the interface between inclusion and the background. In order to equilibrate pressure, viscous fluid moves across the interface. In geologically realistic structures the contrast of length scales and elastic properties between inclusions (fractures) and background material might be very large. As a consequence of this fact three different frequency regimes of attenuation can be identified. Dimensionless attenuation (inverse quality factor) proportional to the first power of frequency  $\omega$  at low frequencies, to  $\omega^{-1/2}$  at high frequencies, and to  $\omega^{1/2}$  in the intermediate frequency range (Brajanovski et al., 2006). Based on the dispersion equation for the effective P-wave modulus developed by Brajanovski et al. (2005) for porous fractured rocks, we compute two cross-over frequencies that separate three different frequency regimes of attenuation in the representative element containing two layers (one of them representing inclusion). In order to give physical explanation for the intermediate  $\omega^{1/2}$  frequency dependency, we show that overall wave attenuation is governed by two coupled fluid diffusion processes, one taking place in the background and the other in the inclusion (fracture).

By combining the theoretical model with the numerical experiments utilizing OASES reflectivity code we show the possibility to estimate overall permeability and different characteristic

length scales that are thickness of the inclusions (fracture weakness) and the distance between them (fracture density) in cross-well applications.

### Acknowledgements

This work was kindly supported by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (contract MU 1725/2-1)

### References

Brajanovski, M., Gurevich, B., and Schoenberg, M., 2005, A model for P-wave attenuation and dispersion in a porous medium permeated by aligned fractures, *Geophysical Journal International*, 163, 372–384

Brajanovski, M., Müller, T.M., and Gurevich, B., 2006, Characteristic frequencies of seismic attenuation due to wave-induced flow in fractured porous media, *Geophysical Journal International*, 166, 574–578

Henning Zöllner (Uni Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie) , Thomas Schicht

## Aktive Seismik im Salinar

Email: h.zoellner@rz.uni-leipzig.de

Bei der Nutzung von Salzgestein als Endlager bzw. Untertagedeponie kann die prinzipiell gute Barrierewirkung des Salzes durch Problemzonen erheblich beeinträchtigt werden. Im Rahmen des BMBF-Projektes „Universelles integriertes geophysikalisches Mess und Auswerteeinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar“ (Fkz.: 02C1305, 02C1315, 02C1325) sollen verschiedene geophysikalische Messverfahren in Hinblick auf ihre Eignung zur Zustandsanalyse von Salzgestein erprobt und optimiert werden. Zur Anwendung kommen dabei Georadar, Gleichstromgeoelektrik, EM, Sonar sowie die Reflexionsseismik. Im Rahmen des Projektes wurden bislang in mehreren Gruben innerhalb des Zechsteinsalinars des Norddeutschen sowie des Thüringer Beckens Messungen mit allen genannten Verfahren durchgeführt. Die Bedingungen für seismische Messungen (aber auch für Radarmessungen) sind nahezu ideal. Der relativ homogene Aufbau und die hohe Schallhärte der Salzsedimente sowie das Fehlen einer schallweichen Verwitterungsschicht mit ihrem stark dämpfenden Einfluss erlaubt eine Registrierung extrem hochfrequenter Wellenanteile noch in einem großen Offsetbereich. So liegen bei Auslagen bis 100m die mittleren Frequenzen noch deutlich oberhalb von einem Kilohertz, was trotz hoher Schallgeschwindigkeiten noch eine Auflösung im unteren Meter-Bereich ermöglicht. Die an der Oberfläche der Messstrecke laufende Rayleighwelle weist praktisch keinerlei Dispersion auf und ist damit prinzipiell gut aus den Daten zu eliminieren. Zum Einsatz kamen Hammerschlaganregungen und Aufzeich-

nungen mit 3-Komponenten-Piezo-Schwingern bzw. 100Hz - vertikal - Geophonen. Es zeigt sich, dass zur Hohlraumdetektion insbesondere die Scherwelle sehr gut geeignet ist. So ist bei Messungen in der Grube Sollstedt (Thüringen) eine bemerkenswert detailreiche Abbildung von parallel zur Messtrecke verlaufenden Grubengebäuden möglich. Dabei können Vorder- und teilweise selbst die Rückseiten von Strecken abgebildet werden, die in Entfernungen von bis zu 100m liegen. Bei Messungen im Bergwerk Teutschenthal (Sachsen Anhalt) die in einer oberhalb des Gebirgsschlagsfeldes von 1996 neu aufgefahrenen Strecke vorgenommen wurden, erscheinen starke Reflektoren aus dem Bereich des ehemaligen Gebirgsschlagsfeldes, und weisen auf Hohlräume bzw. aufgelockerte Zonen in diesem Bereich hin. Die Möglichkeit zum Vergleich mit den Messergebnissen der anderen Messverfahren ist bei der Interpretation von Einzelereignissen sehr hilfreich und liefert generell die Möglichkeit zu einer komplexen Interpretation der Ergebnisse.



Vitaly Polisky (Physik, Uni Karlsruhe) , Miroslav Brajanovski , Tobias Müller

## Giant wave attenuation in partially saturated fractured rocks

Email: tobias.mueller@gpi.uni-karlsruhe.de

By combining VSP measurements (frequency range of 250-1250 Hz) with cross-well measurements (frequency range of 1400-4000 Hz) Parra (2000) evaluated the phase velocity dispersion and attenuation in a relatively large frequency range for a shale/limestone reservoir. The resulting  $P$ -wave dispersion is of the order of 30% and  $Q$ -estimates are of the order of 5. It is known that the reservoir is permeated by vertical fractures and that there is a significant amount of gas patches (Parra, pers. communication).

There is no rock-physics model that can explain these giant values of dispersion and attenuation based on a single mechanism. On the other hand, it is well-known that the mechanism of wave-induced flow can produce significant attenuation in the presence of fractures (e.g., Brajanovski et al., 2005) but also in the presence of partially saturated rocks including gas patches (Müller and Gurevich, 2004). We develop a rock-physics model that describes wave attenuation and dispersion due to wave-induced flow in 1D structures that contain both types of reservoir heterogeneity: fractures and gas-patches. We apply the results to the shale/limestone reservoir described above and find that the dispersion behavior can be consistently modeled.

### Acknowledgements

This work was kindly supported by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (contract MU 1725/2-1)

### References

Brajanovski, M., Gurevich, B., and Schoenberg, M., 2005, A model for P-wave attenuation and dispersion in a porous medium permeated by aligned fractures, *Geophysical Journal International*, 163, 372–384

Müller, T.M., and Gurevich, B., 2004, One-dimensional random patchy saturation model for velocity and attenuation in porous rocks, *Geophysics*, 69, 1166–1172

Parra, J.O., 2000, Poroelastic model to relate seismic wave attenuation and dispersion to permeability anisotropy, *Geophysics*, 65, 202–210

Carsten Dinske (Freie Universität Berlin, FR Geophysik) , Serge Shapiro

## Dynamics of Hydraulic-Fracturing Related Microseismicity

Email: carsten@geophysik.fu-berlin.de

Passive seismic monitoring has a significant potential to characterize physical processes pertained to fluid injections and fluid extractions in hydrocarbon and geothermal reservoirs. One of its most important applications is the mapping of hydraulic fracturing. Here, we show that evaluation of the spatio-temporal dynamics of hydraulic fracturing induced microseismic clouds can contribute to estimate important physical characteristics of the fracturing process itself. In order to understand the main features of the induced microseismicity we propose a simple theoretical model of the process of fracture growth during fluid injections resulting from a volume balance of the treatment fluid. In the initial phase of fluid injection the injected fluid volume creates new fracture volume only. The propagating fracture changes the effective stress state in its vicinity and activates mainly slip events in a spatial domain quite close to the hydraulic fracture. Thus, induced microseismicity images the propagating fracture and we can estimate its geometry, i.e. its dimension. In the limit of long-term injection the loss of injected fluid into surrounding reservoir rocks becomes dominant. This process of fluid leakage has a diffusion character and microseismic events are triggered by pore pressure perturbations. Therefore, analysis of the spatio-temporal evolution of microseismicity enables us to estimate hydraulic parameters and to characterize the fluid loss. Looking at real data we observe that microseismicity also occurs after injection has been stopped. These events are mainly triggered by fluid pressure relaxation within the fractured domain. The mechanism is well explained by the concept

of back-front. Microseismic events are induced only in periods of increasing pore pressure values. This results in no later seismic activity in a certain point where the pressure has reached its maximum at a certain time. The distance from such a point to the injection source defines the back-front of induced microseismicity. It gives us an estimate of the hydraulic diffusivity of the fracture.

This theory of interpretation of the dynamics of hydraulic fracturing controlled microseismicity is applied to real data sets. We consider here a fracturing experiment in the Carthage Cotton Valley gas field, USA, conducted in May 1997. Evaluation of the spatio-temporal characteristics of induced microseismic events shows signatures of fracture volume growth, fracturing fluid loss as well as diffusion of the injection pressure in the rocks and inside the fracture. It allows for order-of-magnitude estimates of fracture geometry, e.g. length and width, and hydraulic parameters, e.g. diffusivity, permeability and fluid loss coefficient, which are in good agreement with results obtained from other studies.

Hamdy Seisa (Department of Geology)

## **Is the Optimum XY spacing of the Generalized Reciprocal Method (GRM) constant or variable?**

Email: [hseisa@yahoo.com](mailto:hseisa@yahoo.com)

The Generalized Reciprocal Method (GRM) is widely used to map subsurface structures with or without lateral variations. This method depends mainly on a unique parameter known as optimum XY spacing and is defined as “at the optimum XY spacing, the rays to each geophone emerge from near the same point on the refractor” The applications of this method on models with lateral variations either in dip angles or velocity show countless number of XY spacing. In this work, synthetic models as well as field data will be used to evaluate and to prove that the XY values is constant only in cases of horizontal layer. In other cases, the optimum XY spacing is highly affected by lateral increasing in dip angle, velocity contrast and the depth to the refracting interfaces.

James Mechie (GFZ Potsdam)

### **A 3-D, P-wave velocity, crustal structure model for Germany derived from seismic refraction / wide-angle reflection data**

Email: jimmy@gfz-potsdam.de

This project is being carried out as part of the effort of the Working Group Crustal Structure Maps of Europe of the European Seismological Commission (ESC). It involves the making of a 3-D, P-wave velocity, crustal structure model for Germany from wide-angle reflection / refraction data. So far, 28 2-D wide-angle reflection / refraction models have been digitized and incorporated in the data base used to make the model. Using the GMT software, preliminary contoured maps of P-wave velocity at 5, 20, 25 and 30 km depth, crustal thickness, Pn and average crustal velocities and depths to the 6 km/s and 7 km/s velocity surfaces have been produced. A list of the models already digitized is available. As more models are digitized, the list and maps will be updated. The velocity model could be used to derive, for example, crustal corrections for mantle tomography, gravity anomalies and crustal strength profiles.

Katja Essen (Ruhr-Universität Bochum, Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik), Wolfgang Friederich, Thomas Bohlen

## Modellierung von gestreuten seismischen Wellen an kleinräumigen Strukturen

Email: katja.dietrich@ruhr-uni-bochum.de

Zur Modellierung der seismischen Wellenausbreitung in 3D-Modellen mit vertikalen wie auch lateralen Variationen der elastischen Parameter gibt es heute eine Vielzahl von Algorithmen, die in der Regel Gitterverfahren verwenden. Die Finite-Differenzen-Modellierung ist ein Beispiel. Obwohl der Einsatz moderner Parallelrechner eine deutliche Verringerung der Rechenzeit bedeutet, ist es mit solchen Methoden bislang nicht möglich, eine größere Anzahl von 3D-Modellen in kurzer Zeit zu berechnen. Dies ist aber zum Beispiel bei der Anwendung von Inversionsverfahren notwendig. Um Reflektionen an kleinräumigen Strukturen untersuchen zu können, haben wir daher einen Algorithmus entwickelt, der eine Modellierung der Wellenausbreitung in 3D-Modellen unter Verwendung der Born-Approximation ermöglicht. Synthetische Seismogramme für 1D-Hintergrundmodelle werden mit der Green-Funktions-Methode (GEMINI) berechnet (Friederich & Dalkolmo, 1995). In ein solches Hintergrundmodell können kleine Änderungen der elastischen Parameter in einem kleinräumigen Streuvolumen vorgenommen werden. Durch Tessellation des Streuvolumens ist es möglich, unterschiedliche Formen von Streuvolumen zu erzeugen.

Die entwickelte Methode kann sowohl für technische Anwendungen in der Seismik als auch in der Seismologie eingesetzt werden. Der Einfluss von verschiedenen Störungen auf die Ausbreitung von dispersiven Flözwellen in einem Kohleflöz kann zum Beispiel mit der Me-

thode untersucht werden. Wir haben die Wellenausbreitung in unterschiedlichen zwei- und dreidimensionalen Flözmodellen mit einem parallelen elastischen 2-D/3-D Finite Differenzen Code berechnet (Bohlen, 2002) und mit den Ergebnissen unseres Algorithmus verglichen. Ein anderer Anwendungsbereich ist die Untersuchung der Wellenausbreitung an kleinräumigen Strukturen im Bereich der Hellenischen Subduktionszone. Höherfrequente P- und S-Wellen von kleineren Erdbeben sollen im Rahmen des EGELADOS-Projektes auf mögliche Reflektionen an kleinräumigen Strukturen untersucht werden. Ein Vergleich von synthetischen Seismogrammen und gemessenen Daten kann Aufschluss über die Existenz von erwarteten Störungen geben. Es soll ein Inversionsverfahren entwickelt werden, mit dem kleinräumige Störungen lokalisiert werden können.

### Literatur

- Friederich, W. & Dalkolmo, J., 1995. Complete synthetic seismograms for a spherically symmetric earth by a numerical computation of the Greens function in the frequency domain, *Geophys. J. Int.*, **122**, 537–550.
- Bohlen, T., 2002. Parallel 3-D viscoelastic finite difference seismic modelling, *Computers & Geoscience*, **28**, 887–899.

Manfred Stiller (GeoForschungsZentrum Potsdam) , Karl-Heinz Jäckel , Frank Stier

## **Unterdrückung von (sub)harmonischen Sweep-Anteilen bei Vibroseis-Messungen**

Email: manfred@gfz-potsdam.de

Das Vibroseis-Verfahren ist neben der klassischen Sprengstoff-Seismik die bedeutendste Anregungsmethode zur Akquisition von reflexionsseismischen Daten, und dies sowohl in der Kohlenwasserstoff-Prospektion als auch in der kontinentalen Krustenseismik. Es ist dadurch gekennzeichnet, dass ein periodisches Signal mit variabler Frequenz (ein sogenannter Sweep) über einen längeren Zeitraum in den Boden eingestrahlt wird (und das in der Regel mehrmals in Folge). Dazu prägen ein oder mehrere hydraulisch gesteuerte Vibratoren simultan durch mit hohem Anpressdruck angekoppelte Metallplatten dem Boden das gewünschte Quellsignal auf. Durch den mathematischen Prozess der Korrelation zwischen der am Geophon gemessenen Vibroseis-Spur und dem verwendeten Steuer-Sweep kann dann unmittelbar ein Impuls-Seismogramm, äquivalent einer Sprengstoff-Spur, berechnet werden. Ist aus irgendeinem Grund die die Vibrator-Bodenplatte verlassende und durch den Untergrund laufende Anregungsschwingung nicht exakt identisch dem zugrundeliegenden Steuer-Sweep, so wird die spätere Korrelation, die ja der Kontraktion des zeitlich ausgedehnten Quellsignals dienen soll, fehlerhaft sein. Ursache dafür kann entweder sein, dass die Bodenplatte nicht dem Steuer-Sweep folgt (z.B. wegen ungenügender PeakForce-Control) oder dass die Bodenplatte zwar dem Steuer-Sweep folgt, aber der Untergrund nicht der Bodenplatte (z.B. durch nicht-lineares Verhalten der Langsamschicht bei Anregung mit großer PeakForce). Jede Abweichung des periodischen Anregungssignals von der strengen, frequenz-varianten Cosinus-Form erzeugt automatisch harmonische Oberwellen mit ganzzahligen Vielfachen der Momentan-Frequenz. Diese wiederum führen dann bei der Korrelation mit dem Steuer-Sweep (der diese Oberwellen ja nicht enthält) zu "Ghost-Einsätzen", welche durch die zusätzlichen Korrelationen der SteuerSweep-Grundschiwingung

mit den Vibrogramm-Oberwellen entstehen. Diese Ghosts können - gerade in der krustalen Tiefenseismik, wo das Signal-Noise-Verhältnis insbesondere zu späteren Laufzeiten bereits sehr klein ist - leicht zu Fehlinterpretationen führen. Im Rahmen des Projekts DESIRE 2006 (DEad Sea Integrated REsearch) wurde ein Teilstück des Reflexionsprofils in Israel (von der Negev-Wüste bis zum Toten Meer) mit Vibroseis-mik hochüberdeckt vermessen. Hierbei wurden nun (unseres Wissens erstmals bei dieser Art Messung) starke subharmonische Frequenz-Anteile beobachtet, d.h. neben der durch den Steuer-Sweep vorgegebenen Grundschiwingung (und den nicht ganz so ungewöhnlichen ganzzahligen Vielfachen) enthält das durch den Untergrund gelaufene und von den Geophonen aufgezeichnete Signal offenbar auch einen signifikanten Anteil mit jeweils der halben Momentanfrequenz. Diese subharmonischen Partiale sind nun deshalb so katastrophal für die Seismogramm-Qualität, weil sich die zugehörigen Ghost-Einsätze zu späteren Laufzeiten hin abfalten, wo die Signal-Amplituden bereits merklich abgefallen sind, während die Ghost-Einsätze der harmonischen Partiale sich zu früheren Laufzeiten hin abfalten, wo die Signal-Amplituden noch relativ hoch sind. Es wurde ein mathematisches Verfahren entwickelt, mithilfe dessen diese extrem störenden subharmonischen Nebenbänder erkannt, separiert und gezielt unterdrückt werden können. Dazu werden die aufgezeichneten Vibrogramme durch eine entsprechende Transformation in einen Bereich überführt, der vielleicht am ehesten als "(sub)harmonic domain" bezeichnet werden kann, wo alle (sub)harmonischen Frequenz-Anteile getrennt voneinander fokussieren und vor der Rücktransformation entsprechend eliminiert werden können. Das hier vorgestellte Verfahren arbeitet nicht pauschal, sondern daten-gesteuert, und ist in Form einer manuellen, einer halb-automatischen oder einer voll-

automatischen Anwendungsvariante einsetzbar.

Florian Bleibinhaus (Department für Geo- und Umweltwissenschaften, LMU München) , ALP 2002 Working Group

## **A 3D anisotropic seismic velocity model of the Eastern Alps from reflection and refraction traveltimes tomography**

Email: [bleibi@geophysik.uni-muenchen.de](mailto:bleibi@geophysik.uni-muenchen.de)

The Eastern Alps of Europe were the target of Deep Seismic Sounding (DSS) surveys in 1998/99 (TRANSALP) and 2002 (ALP 2002). The reflection and refraction seismic TRANSALP transect provides high resolved 2D models at the Western end of the Tauern Window (12°E). ALP 2002 covers the greater East Alpine area, and consists of a network of 13 stationary lines with a total length of 4300 km recording 39 controlled sources. A variety of techniques from 2D forward modeling to 3D tomographic inversion and stacking was applied to take advantage of the spatially varying resolving power of the data. Older East Alpine DSS data from the 70's were included in the inversions to increase coverage and to obtain consistent models. This study focuses on a 3D velocity and Moho model for the Eastern Alps within a region of 300 km x 400 km from simultaneous traveltimes inversion of refracted and reflected phases considering anisotropy. Observations of ALP 2002 shots on the TRANSALP line have shown that the first order p-wave velocity structure along TRANSALP is consistent with the ALP 2002 data within ~ 150 km towards the East when 10% anisotropy in the Tauern Window are taken into account. Results for the area between 12°-14°E indicate a south directed subduction of European below Adriatic crust, with the suture located south of the central mountain crest. The maximum Moho depth of 50-55 km in the central Eastern Alps decreases to less than 30 km in the Pannonian Basin at ~ 14.5°E. The apparently discontinuous nature of this change in crustal thickness indicates the existence of a separate Pannonian plate fragment.



Stefan Buske (Freie Universität Berlin) , Stine Gutjahr , Susanne Rentsch , Serge Shapiro

## **Aktive und passive seismische Abbildung des San-Andreas-Verwerfungssystems**

Email: buske@geophysik.fu-berlin.de

Im Rahmen des EarthScope-Projektes SAFOD (San-Andreas-Fault-Observatory-at-Depth) wurden in den vergangenen Jahren qualitativ hochwertige seismische Daten aus der direkten Umgebung des San-Andreas-Verwerfungssystems gewonnen. Wir haben diese Daten mit modernen Verfahren prozessiert, um so ein hochaufgelöstes strukturelles Abbild des Untergrundes ableiten zu können.

Zum einen haben wir mit Hilfe der Fresnel-Volumen-Migration den reflexionsseismischen Datensatz SAFOD2003 bearbeitet. Das Ergebnis ist ein strukturelles Bild entlang des gesamten ca. 50 km langen Profils bis in eine Tiefe von ca. 10 km. Die San-Andreas-Störung erscheint als starker subvertikaler Reflektor, der sich von der geologisch kartierten Lage an der Erdoberfläche bis in eine Tiefe von ca. 4 km verfolgen lässt. In dieser Tiefe konvergiert dieser Reflektor mit einem zweiten ebenfalls hochreflektiven subvertikalen Reflektor, der an der Erdoberfläche mit der etwa 2 km westlich verlaufenden Buzzard-Canyon-Störung korreliert. Auch die etwa 4 km östlich gelegene Waltham-Canyon-Störung bildet sich als subvertikaler Reflektor bis in eine Tiefe von ca. 5 km scharf ab. Desweiteren erscheinen westlich der San-Andreas-Störung auf einer Länge von ca. 10 km in der Nähe der Erdoberfläche eine Reihe von subvertikalen Reflektoren sowie in einer Entfernung von ca. 15 km ein markanter aber strukturell leicht diffuser Reflektor, der bis in eine Tiefe von ca. 10 km verfolgt werden kann. Diese Reflektoren können derzeit mit keiner bereits geologisch kartierten Störung an der Erdoberfläche in Verbindung gebracht werden. Ein Vergleich mit geodynamischen Modellierungen zeigt jedoch, dass die Existenz solcher Störungen durchaus wahrscheinlich und realistisch ist.

Zum anderen haben wir mit Hilfe eines neuen Lokalisierungsansatzes die Daten des 80-Dreikomponenten-Empfänger-Arrays aus dem SAFOD Bohrloch bearbeitet. Mit Hilfe einer

speziell angepassten Methodik können wir die Target-Beben, auf die sich die weiter geplanten Bohrarbeiten konzentrieren, genau lokalisieren und deren Lage in Bezug auf das Störungssystem interpretieren.

Insgesamt ergibt sich somit aus der Kombination der Reflektivität und der Seismizität ein seismisches Bild der Struktur des Verwerfungssystems und damit eine gute Basis für die Erforschung und Interpretation der physikalischen und chemischen Prozesse, die die Bewegung und Erdbebenentstehung an einer solchen aktiven Plattengrenze kontrollieren.

K. Groß (Freie Universität Berlin) , Stefan Buske , Serge Shapiro , P. Wigger , TIPTEQ Research Group

## **Seismic Imaging of the Subduction Zone in Southern Central Chile (Project TIPTEQ)**

Email: kolja@geophysik.fu-berlin.de

With a quarter of the worldwide seismic energy in the last century having been released in the Chilean region alone, the Andean subduction zone is a natural laboratory for seismogenic studies. The overarching purpose of project TIPTEQ (from The Incoming Plate to mega-Thrust Earthquake processes), which comprises 13 sub-projects, is to investigate processes active at all scales in the seismogenic coupling zone which hosted the rupture plane of the 1960 Valdivia earthquake ( $M_w = 9.5$ ) in south central Chile. The controlled-source seismology survey described here aims at imaging and identifying the structural and petrophysical properties within the seismogenic coupling zone at  $38.2^\circ$  S.

The application of Kirchhoff prestack depth migration as well as two advanced imaging techniques (Fresnel Volume Migration, Reflection Image Spectroscopy) reveal the subducted Nazca plate with varying reflectivity. Below the coast the plate interface occurs at 25 km depth as the sharp lower boundary of a 2-5 km thick, highly reflective region, which we interpret as a subduction channel. The plate interface can be traced down to depths of 50-60 km below the Central Valley. We observe strong reflectivity at the plate interface and in the continental mantle wedge further down-dip than the seismogenic coupling zone. The sections show a segmented forearc crust in the overriding South American plate. Major features in the accretionary wedge, such as the Lanalhue fault zone, can be identified. At the eastern end of the profile a bright west-dipping reflector lies perpendicular to the plate interface and may be linked to the volcanic arc.

Robin Groschup (Ludwig-Maximilians-Universität), Florian Bleibinhaus, Helmut Gebrande

## **Steep-dip Kirchhoff-Migration enthüllt Struktur der Periadriatischen Linie**

Email: robin.groschup@gmx.de

Kern des TRANSALP-Projektes, das in den Jahren 1998 bis 2001 von deutschen, österreichischen und italienischen Organisationen durchgeführt wurde, war ein 340 km langes reflexionsseismisches Profil quer zum Streichen der Ostalpen zwischen München und Venedig. Die bisherige Auswertung dieser Daten wurde mittels CMP-Stapelung und Poststack-Migration durchgeführt. Methodisch bedingt zeigen die Ergebnisse im Bereich der Periadriatischen Linie (PL) relativ gleichförmige Neigungen. Die PL selbst, von der man als bedeutsame Strike-Slip Störung eine sehr steile Einfallrichtung erwartet, konnte nicht direkt abgebildet werden, obwohl die dort beobachteten Reflexionslaufzeiten ausgesprochen steile Neigungen erkennen lassen. Deswegen wurde ein 60 km langer Profilabschnitt der Vibroseis-Linie im Bereich um die PL mit Methoden der Kirchhoff-Prestack-Migration neu bearbeitet. Die Berechnung der Isochronen in dem hier verwendeten Migrationsalgorithmus erfolgt durch die Lösung der Eikonalgleichung auf einem finite Differenzen Gitter (Hole und Zelt, 95). Dieses Verfahren ermöglicht zusammen mit der Verwendung wahrer Ortsgeschwindigkeiten prinzipiell das Abbilden beliebig steiler Reflektoren. Die verwendeten Geschwindigkeiten stammen aus einem laufzeitomographischen Geschwindigkeitsmodell (Bleibinhaus und Gebrande, 2004). Die bisher bekannten Reflektoren im Bereich der PL zeigen in der Neubearbeitung ein deutlich differenzierteres Bild hinsichtlich Position und Einfallrichtung. Außerdem wird erstmals ein bis zu 70 Grad steil nach Süden einfallender Reflektor sichtbar, der sich in Tiefen zwischen 6 und 16 Kilometern eindeutig abbildet. Detailbearbeitungen in flacheren Bereichen lassen auch dort erhöhte Reflektivität mit sehr steilem südgerichtetem Einfallen erkennen. Diese Beobachtungen werden als direkte Abbildung der PL angesehen. Auch im Bereich der "Sub-Dolomiten-Rampe" zeigt

sich ein detaillierteres Bild, das neue Rückschlüsse auf kompressionstektonische Prozesse im Bereich der Südalpen ermöglicht. Mit diesen Befunden kann zwischen bestehenden konkurrierenden Modellen zur alpinen Orogenese entschieden werden.

(F. Bleibinhaus, H. Gebrande, 2006. Crustal structure of Eastern Alps along the TRANSALP profile from wide-angle seismic tomography. *Tectonophysics* 414, 51-69.

J. A. Hole, B. C. Zelt, 1995. 3D finite-difference reflection traveltimes. *Geophysical Journal International* 121, 427-434)

Denise De Nil (TU Bergakademie Freiberg) , Thomas Bohlen

## Towards beamforming of Rayleigh-to-body converted waves for seismic imaging ahead of tunnel construction

Email: denise.denil@tu-freiberg.de

Tunneling can get safer and more efficient by on-line seismic prediction of the geological structures. Within the *BMBF-Geotechnologien* project *OnSITE* we are developing a technique for imaging structures ahead of the tunnel face by Rayleigh to body converted waves which are excited and recorded by sources and receivers at the tunnel walls some meters or decameters behind the tunnel face. This enables measurements without much interference with construction operations.

Synthetic wavefields (Bohlen, 2002) and field measurements show that a major portion of the energy excited by a hammer source at the tunnel wall is usually radiated as Rayleigh wave, and energy from steep reflectors reaches the receivers as *RSSR*-phase (Lorang et al. 2005, 2006; Bohlen et al., 2006; Lüth et al. 2005, 2006). *RSSR* means, that a Rayleigh wave travels from the source to the head face where it converts into a shear wave, is reflected by a geological structure, and converts back when reaching the head face again. *Rayleigh wave* should not be understood in a strict sense, but as *interface wave with characteristics similar to Rayleigh wave* especially including tube waves. Lüth et al. (2005, 2006) have presented a successful application of this approach to field data.

Despite these promising results, the technique still suffers from severe problems: The most outstanding ones are (1) a low signal to noise ratio mainly caused by severe ringing due to undulations of the tunnel wall and/or fractures generated by the tunneling activities (Bohlen et al., 2003a/b, 2004), and (2) spatial ambiguity. Array techniques are a promising starting point for both, enhancing signal to noise ratio and focussing energy into/from selected directions to be illuminated. Beamforming can reduce the circumferential ambiguity, that cannot be solved by repeated measurements at different face positions.

For relatively high frequencies and accordingly short wavelengths significantly smaller than the tunnel circumference, Rayleigh wave propagation along the cylindrical tunnel surface can be approximated by wave propagation on a wound up plane. According

to synthetic wavefields for simple tunnel models, the main conversion between interface and bodywaves takes place when the original wave reaches the edge of the tunnel face. This ring may be regarded as kind of secondary array that can be tuned by the choice of single source and receiver locations on the cylinder surface, or by a suitably tuned array of sources and receivers, respectively.

Further surveys will have to be undertaken for estimating the range of validity of this approach. Dispersion and more realistic source and conversion functions might have to be incorporated. However, an even simpler model resulting in a more linear approximation of the transfer function would be desirable.

**References:** T. Bohlen et al. (2006): Rayleigh-to-shear wave conversion at the tunnel face, submitted to Geophysics. T. Bohlen et al. (2004): 63rd annual meeting of the DGG, poster SMP05. T. Bohlen et al. (2003a): 65th EAGE Conference, poster P242. T. Bohlen et al. (2003b): 62nd annual meeting of the DGG, poster SMP04. T. Bohlen (2002): Computers and Geosciences, 28(8), 887–899. U. Lorang (2006): diploma-thesis, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. U. Lorang et al. (2005): 65th annual meeting of the DGG, talk UI04. S. Lüth et al. (2006): Seismic investigations of the Piora Basin using S-wave conversions at the tunnel face of the Piora adit, submitted to J. of Rock Mech. and Mining Sc. S. Lüth et al. (2005): biannual report 2004/2005 GFZ-Potsdam, 97–102.

Stefan Jetschny (TU BAF, Institut für Geophysik) , Thomas Bohlen , Denise De Nil , Stefan Lüth , Rüdiger Giese

## On the nature of tunnel surface waves in tunnel seismic exploration

Email: stefan.jetschny@geophysik.tu-freiberg.de

To increase safety and efficiency of tunnel constructions, online seismic exploration ahead of a tunnel can become a valuable tool. Within the *OnSite* project funded by the BMBF within *GeoTechnologien* a new forward looking seismic imaging technique is developed to e.g. determine weak and water bearing zones ahead of the constructions.

Our approach is based on the excitation and registration of *tunnel surface waves*. These waves are excited at the tunnel face behind the cutter head of a tunnel boring machine and travel into drilling direction. Arriving at the front face they generate body waves (mainly S-waves) propagating further ahead. Reflected S-waves are back-converted into tunnel surface waves.

For a theoretical description of the conversion process and for finding optimal acquisition geometries it is of importance to study the propagation characteristics of tunnel surface waves. 3D seismic finite difference modelling revealed that at higher frequencies, i.e. if the tunnel diameter is significantly larger than the wavelength of S-waves, these surface waves can be regarded as Rayleigh waves circulating the tunnel. For smaller frequencies, i.e. when the S-wavelength approaches the tunnel diameter, an oscillation of the whole tunnel is observed. The propagation characteristics are then similar to so-called *tube waves* observed in thin boreholes.

Field measurements performed by the GeoForschungsZentrum Potsdam show the later effect, i.e. the propagation of tube-wave like waves along the tunnel. To enhance our understanding of the excitation and propagation characteristics of tunnel surface waves the transition of Rayleigh to tube-waves is investigated both analytically and by numerical simulations.

Jörg Appel (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) , Stephan Feller , Sebastian Kalka , Hans Keppler , Christoph Gaedicke , Rüdiger Lutz

### **3D – seismische Kartierung von bright spots in direkter Umgebung eines Salzstockes**

Email: joerg\_appel@yahoo.de

Oberflächennahes Gas (shallow gas) wird als zukünftige Energiereserve zunehmend als wirtschaftlicher Faktor betrachtet. Gashaltige Sedimentpakete können an ihrer Obergrenze und an ihrer Untergrenze (hard kick) durch entgegengesetzte Impedanzsprünge gekennzeichnet sein und sich in reflexionsseismischen Profilen als Bereiche starker Amplituden (bright spots) darstellen. Die seismischen Amplituden können innerhalb eines seismischen Volumens auf bestimmte Amplitudenbereiche beschränkt werden, indem nur ein Teil der Voxel - hier die Bereiche für starke positive und starke negative Amplituden - dargestellt werden. Dadurch lässt sich eine mögliche Gasführung im Sediment sowohl horizontal als auch vertikal kartieren.

Die Kartierung des Störungssystems und der bright spots oberhalb eines Salzstocks in einem 3D-seismischen Datensatz (Deutsche Nordsee) erfolgt bis in eine Tiefe von max. 2s TWT. Die Kartierung zeigt, dass an dem Störungssystem im Scheitelbereich des Salzstocks Bereiche starker Amplituden in ca. 0.5 – 1s [TWT] auftreten. Die bright spots lassen sich in dem 3D-seismischen Datenvolumen räumlich vollständig erfassen. Die voxelbasierte Darstellung des 3D-seismischen Datenvolumens legt nahe, dass es sich bei den Amplitudenanomalien nach Ausdehnung, Lage und Form um gasgefüllte Sedimente handelt. Die bright spots treten häufig direkt an Störungen auf und werden von diesen scharf begrenzt. Mögliche Ursachen hierfür sind Gastransporte entlang von permeablen Störungen aus tiefer liegenden Bereichen (thermisch generiertes Gas) oder eine bakterielle Gasgenese und abdichtende Störungen.

Stephan Feller (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe) , Sebastian Kalka , Jörg Appel , Rüdiger Lutz , Christoph Gaedicke , Hans Keppler

## **Der Dachbereich des Salzdiapirs „Birgit“ im deutschen Nordseesektor: Eine 3D-seismische Untersuchung**

Email: S.Feller@bgr.de

Im deutschen Teil des Zentralgrabens der Nordsee wurden bisher wenige Salzstrukturen im Detail untersucht. Besonders die Untersuchung von Salzstockdächern kann Informationen über die jüngste und zukünftige Entwicklung der Salzstrukturen liefern. Auf der Grundlage 3D-seismischer Daten wurde der Dachbereich eines Salzdiapirs im „Entenschnabel“ des deutschen Sektors strukturell und stratigraphisch interpretiert. Die Interpretation bildet die Grundlage für Strukturkarten, Isopachenkarten und ein 3D-Modell des Störungssystems. Der untersuchte Salzstock hat die Schichten des Alttertiärs durchbrochen. Die Mittelmiozän-Diskordanz ist der älteste kartierte Horizont, der sich beulenförmig über den Scheitel verfolgen lässt. Onlap-Strukturen an den Flanken des Horizonts belegen die damalige Existenz eines ausgeprägten Reliefs. Rezent aktive Störungen, sowie Mächtigkeitsreduktionen der stratigraphischen Einheiten im Scheitel des Salzdiapirs deuten auf anhaltende Bewegungen des Salzdiapirs. Der Scheitelgraben streicht dem regionalen Trend entsprechend NW-SE. Er misst 10 km in der Länge und 1,5 - 5 km in der Breite. Am schmalsten ist er zentral über dem Diapir. Von dort aus verbreitert er sich in Streichrichtung, wobei die Verwerfungen radial bis subparallel verlaufen. Südwestlich wird der Graben durch eine listrische Hauptabschiebung begrenzt, die bis in das Salz zu verfolgen ist. Der übrige Teil wird aus synthetischen und antithetischen Störungsschuppen aufgebaut. Die Hauptstörung war synsedimentär aktiv, was mit der Tiefe zunehmende Störungsversätze, sowie mächtigere sedimentäre Einheiten im Hangenden nahe legen. Durch die Analyse der Mächtigkeiten der sedimentären Einheiten außerhalb des Grabens konnten drei kinematische Phasen unterschieden werden: (1) Die frühe aktive Aufdomung des Salzes, die zu einer gleichmäßigen Hebung des Dachbereiches führt was zu Mächtigkeitsreduktionen südwestlich und nordöstlich des Grabens führt. (2) Hebung mit Beginn des Quartärs, die an der Hauptstörung synsedimentär kompensiert wird und in deren Folge es zu Mächtigkeitszunahmen nordöstlich des Scheitelgrabens kommt. (3) Im Quartär folgt anschließend wieder eine gleichmäßige Hebung des Dachbereiches.

Sebastian Kalka (BGR Hannover) , Rüdiger Lutz , Jörg Appel , Christoph Gaedicke , Lutz Reinhardt

## Subglaziale Rinnen in der deutschen Nordsee – eine 3D seismische Untersuchung

Email: S.Kalka@bgr.de

Die Nordsee wird gegenwärtig und auch zukünftig stark genutzt (Pipelines, Ölplattformen, submarine Kabelstränge, Windparks, Exploration auf Öl und Gas). Daher ist das Wissen über die Beschaffenheit des Meeresbodens und oberflächennahen Untergrundes von großer Bedeutung. Der Nordseeschelf und angrenzende Landmassen waren im Pleistozän drei Phasen von Vergletscherung ausgesetzt. Als Resultat glaziärer Prozesse haben sich im Zuge des Gletscherrückzugs bis zu 360 m tiefe Erosionsstrukturen gebildet. Wir stellen hier eine Verbreitungskarte quartärzeitlicher Rinnen auf der Basis von 3D seismischen Daten vor. Die kartierten Rinnen lassen sich anhand ihrer Geometrie, der Rinnenfüllung und Reflektoreigenschaften in zwei Kategorien einteilen: Typ I Rinnen ohne bevorzugte Richtung und Typ II Rinnen, welche zwei Hauptrichtungen aufweisen (NW'-SE' und NE'-SW' Richtung). Die Typ I Rinnen weisen schwache Reflexionen auf, sind durchschnittlich zwischen 3 und 10 km lang und nur 10 – 550 m breit. Das Verhältnis von Tiefe zu Breite schwankt zwischen 1:1 bis 2:1. Die Rinnen haben einen „U“-förmigen Querschnitt, steil abfallende Flanken (40-50°) und eine seismisch homogene Füllung. Die Entstehung dieser Rinnen ist vermutlich fluvial oder glazifluvial. Im Gegensatz dazu beruht die Entstehung der Typ II Rinnen vermutlich auf subglaziärer Entwässerung und Erosion. Diese Rinnen weisen deutlichere Strukturen in den seismischen Profilen auf, sind bis zu 36 km lang, durchschnittlich 1-4 km breit und bis zu 360 m tief. Das Verhältnis von Tiefe zu Breite variiert zwischen 1:5 bis 1:10. Die Rinnenflanken haben ein Gefälle von 20-40° und eine komplexere Füllung als die Rinnen des Typ I. Die Rinnensohle weist einen unregelmäßigen Verlauf mit Schwellen und Mulden auf. Es konnten zwei Generationen der Typ II Rinnen identifiziert werden, welche wahrscheinlich während 2 Vereisungsphasen entstanden sind. Eine Rinne weist interne Erosionsflächen auf, die auf eine Reaktivierung der Rinne während ein oder zwei Vergletscherungen hindeuteten. Anhand zweier Salzstöcke im Untersuchungsgebiet konnte der Einfluss halokinetischer Strukturen auf den Verlauf der Rinnen untersucht werden. Dabei zeigt sich, dass deren Ausbreitungsrichtung nicht unbedingt an Salzstrukturen und deren begleitende Störungen gebunden sein muss.



Ulrich Polom , W. Rühaak (Leibniz Institute for Applied Geosciences (GGA)) , L. Gorling , R. Schulz

## **Shallow high resolution reflection seismic survey within a factorial building using shear-waves**

Email: [w.ruehaak@gga-hannover.de](mailto:w.ruehaak@gga-hannover.de)

A 3-d subsurface model has been developed for an industrial area near Wolfsburg (Lower Saxony, Germany) in a joint project of the GGA-Institute, the State Authority for Mining, Energy and Geology (LBEG), and Volkswagen AG who provided geological and geophysical data. The investigation area is 7.5 km x 10 km. Only Quaternary glacial and fluvial sediments and the underlying Mesozoic (Lias mudstone, Early Jurassic) are considered. Hence the maximum depth of investigation amounts up to 100 m. Although data from previous geophysical surveys are available, it was necessary to perform additional seismic surveys due to the sparse density of drillings and geophysical measurements especially in the areas of factory buildings. Therefore methods were of interest, which probably enable completely non-destructive investigations on the factory building floors. The seismic SH body wave type has been chosen for this investigations because it is nearly unaffected by any kind of pore saturation. The up to ten times lower velocity in unconsolidated sediments, compared to P-waves, results in considerable shorter wavelengths for a detailed structure analysis. Furthermore, given a laterally isotropic layer sequence, this wave type is less affected for wave conversions. For the high resolution seismic purposes and fast data acquisition, a Land Streamer unit of 72 SH geophones in 1 m intervals has been combined with a small, electrodynamic driven SH shaker source system mounted on a wheel barrow unit, utilizing the shear-wave vibroseis method. Applications during previous surveys have shown the performance of this setup on different kinds of sealed soils and also on a concrete foundation of a building. However, the situation in this case is quite complex because the thickness and structure of the concrete foundation of the factory building (a pressing plant) is not known. To reduce the noise the measurements were carried out at one Sunday during an out-of-production time slot. A seismic profile of 230 m length has been acquired. The results show reliable seismic signals and detailed sedimentary structures of the subsurface. However, due to the lack of a VSP and only one deep drilling in the direct neighbourhood, the seismic interpretation of the complex glacial shaped subsurface is very challenging.

Daniela Kink (Montanuniversität Leoben, Department Angewandte Geowissenschaften und Geophysik) , Silke Hock , ALP 2002 Working Group

## **Detailuntersuchung der Krustenstruktur im Bereich Niedere Tauern (Steiermark, Österreich) mit ALP2002-Daten**

Email: hock@unileoben.ac.at

Ziel dieser Untersuchung ist eine detaillierte Beschreibung des seismischen Krustenmodells für P-Wellengeschwindigkeit und Moho-Tiefe im Bereich Niedere Tauern (Steiermark, Österreich). Das dreieckförmige Untersuchungsgebiet befindet sich im östlichsten Bereich der Zentralalpen (magmatisches und metamorphes Gestein) und ist im Norden durch die Grauwackenzone begrenzt.

Für die Untersuchung der Krustenstruktur wurden Profildaten der Linien ALP05 und ALP09 gepickt. Die seismischen Sektionen zeigen klare Ersteinsätze für Entfernungen bis zu 100-150 km. ALP09 verläuft von NW nach SE und ALP05 von NE nach SW. Im Schnittpunkt der beiden Linien liegt der Schußpunkt SP503 (46.83°N, 14.96°E). Der Stationsabstand auf diesen beiden Linien ist jeweils ca. 6 km.

Es wurden 2D-Modelle unter Verwendung von strahlengeometrischer Modellierung erstellt. Im ersten Schritt wurden die Linien einzeln interpretiert ohne Konzentrierung auf bestimmte Teilabschnitte entlang der Linien. Insgesamt gibt es vier Schußpunkte (SP504, SP503, SP205 und SP115) entlang ALP05. Im Fall von ALP09 gibt es nur zwei Schußpunkte (SP503 und SP206). Der Fernschuß SP109 (auf ALP01) in nordwestlicher Verlängerung vom oberen ALP09-Profilende eignet sich nur bedingt als Gegenschuß, da ein Großteil der ALP09-Stationen zu weit entfernt ist, um verwendbare Einsätze zu zeigen.

In einem zweiten Schritt wurde der Schnittpunkt zwischen ALP05 und ALP09 mitberücksichtigt für eine Modellverbesserung. Zusätzlich konnten die Ergebnisse der Linie ALP10 (Yliniemi, 2006; persönliche Kommunikation) – mit kleinen Stationsabständen von ca. 3 km – miteinbezogen werden. Diese Linie verläuft hauptsächlich durch die Grauwackenzone und bildet mit den Schnittpunkten von ALP05 (SP504: 47.49°N, 15.61°E) und ALP09 (47.5°N, 14.6°E) ein Dreieck und stellt die nördliche Begrenzung des Dreiecks dar. Die Seiten des Dreiecks sind zwischen 60 und 90 km lang.

Die Krustenmächtigkeit variiert zwischen 30 und 50 km im Untersuchungsgebiet.

---

## **2.20 SO - Seismologie**

Barbara Hofmann (University of Hamburg) , Simone Cesca , Torsten Dahm , Christian Haberland , Andreas Rietbrock

## **A combined amplitude-spectra time-trace inversion to study moment tensors of**

Email: [barbara.hofmann@zmaw.de](mailto:barbara.hofmann@zmaw.de)

Retrieving robust moment tensor solutions of a large number of weak local earthquakes is still a time-consuming and difficult task.

This work implements a semi-automatic three-step iterative inversion for local earthquakes.

Preprocessing includes picking, locating, resampling, rotating and deconvolving of seismic data. Full waveform Green functions have to be calculated.

The first inversion step implies a robust amplitude spectra inversion of selected and lowpass-filtered body-wave phases, where a global minimum is retrieved by applying a gradient method and a grid search for starting models. Usually, P-phases at all stations and SH-phases at selected key stations are used. The retrieved moment tensor has an ambiguity in terms of its polarity.

The second step uses the best moment tensor solution to predict phase corrections of synthetic time traces by cross correlating observed and synthetic data. The sign ambiguity is resolved by testing both solutions in time domain after shifting Green functions to time-lags of either maximal or minimal cross correlation coefficients, and selecting the one with the smaller misfit.

The final inversion (step 3) aims to improve the stability and reliability of the results by adding those time traces, that have a small misfit in step 2. A combined, nonlinear and iterative amplitude-spectra and time trace inversion is performed. The previous best moment tensor is used as a starting model.

The method is applied to new seismicity data from the TIPTEQ experiment at the south-central Chilean margin between -39 and -37 latitude. More than 500 earthquakes have been recorded during the deployment. Up to 120 short period land stations and 10 ocean bottom stations recorded between Feb and Oct 2005.

We present test cases to demonstrate the inversion approach and discuss the retrieved moment tensors in terms of the tectonic and geodynamic settings.

Acknowledgement: The TIPTEQ project is financed by the German BMBF and DFG through the R&D-program GEOTECHNOLOGIEN.

Martin Knapmeyer (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt)

## Lokalisierung von Erdbeben mit sehr dünn besetzten Netzwerken und ungenauen Daten

Email: martin.knapmeyer@dlr.de

Seismologische Experimente auf dem Mond, dem Mars oder anderen Planeten müssen aus Kostengründen stets mit sehr wenigen Stationen auskommen. Das Apollo-Netzwerk auf dem Mond beispielsweise bestand im wesentlichen aus einem Dreieck mit einer Kantenlänge von nur 39 Grad. Als zusätzliche Schwierigkeit sind Einsatzzeiten in den Apollo-Daten aufgrund starker Coda und geringer Magnituden nur schwer abzulesen.

Unter diesen Voraussetzungen ist eine genaue Beschreibung der Fehlergrenzen der Lokalisierung von großer Bedeutung - wenn nicht festgestellt werden kann, wo das Hypozentrum ist, dann vielleicht wenigstens, wo es sicher *nicht* ist.

Auch wenn die genaue Einsatzzeit einer Phase in gestörten Seismogrammen nur schwer feststellbar ist, kann fast immer ein Zeitintervall angegeben werden, in welchem der Einsatz sicher enthalten ist. Mehrere auf diese Weise eingegrenzte Einsätze von verschiedenen Stationen definieren ein irregulär geformtes Volumen innerhalb des Planeten, welches das Hypozentrum sicher enthält, aber analytisch nur schwer zu beschreiben ist. Daher wird der gesamte Planet (oder gewisse Tiefenbereiche) auf einem Suchgitter durchsucht. Für jeden Gitterpunkt wird dabei ermittelt, mit wie vielen Einsatzzeitintervallen er kompatibel ist. Ein Zeitintervall für die Herzzeit ergibt sich dabei von selbst. Als Hypozentrum kommen nur solche Gitterpunkte in Frage, die mit allen Beobachtungen vereinbar sind (Falsifikationsprinzip). Die einfache Ja/Nein-Logik dieses Kompatibilitätskriteriums erlaubt auch eine einfache Kombination z.B. von Laufzeit- und Azimutmessungen, falls Rückazimute aus Mehrkanaldaten ebenfalls als Intervalle angegeben werden.

Um die Anzahl der Laufzeitintegrationen gering zu halten, wird ein lokal adaptives Gitter auf Basis eines Ikosaeders verwendet. Die Ikosaedersymmetrie erlaubt eine sehr gleichmäßige Verteilung von Punkten auf Kugelschalen. In Gebieten hoher Kompatibilität werden die dreieckigen Seitenflächen des Gitters rekursiv in kleinere Flächen unterteilt, was eine Anpassung an komplexe Geometrien erlaubt. Damit ist eine genaue Beschreibung von Abhängigkeiten zwischen den Herdkoordinaten möglich.

Eine Anwendung des Verfahrens auf verschiedene Mondbeben zeigt, daß bisherige Lokalisierungen hinsichtlich ihrer Genauigkeit zu optimistisch sind. Insbesondere bei den Herdtiefen zeigt sich, daß diese teilweise wohl mehr durch Startlösungen als durch Daten determiniert sind.

Tran Thanh Tuan (Friedrich-Schiller-Universität Jena) , Peter Malischewsky , Frank Scherbaum

## **Analysis of osculation points on the $H/V$ ratio**

Email: p.mali@uni-jena.de

The ellipticity of Rayleigh waves ( $H/V$ ) has gained considerable popularity in the context of studying ambient seismic vibrations for seismic hazard analysis. Since the  $H/V$  peak frequency correlates under certain circumstances with the fundamental resonance frequency of the shallow subsurface structure, the  $H/V$  technique is used as an indicator of the shear-wave profile. Despite the popularity of this method, a number of fundamental theoretical questions still wait to be solved. To obtain a better theoretical understanding of the relationship between site resonance and Rayleigh wave ellipticity we investigate simple site models, as a first step instead “layer with fixed bottom“, which is a special case of the “layer over halfspace“ model in which the ratio of rigidities between stratum and subjacent material becomes zero. We observe that several characteristic features are very similar for both models, but the model with fixed bottom is much easier to investigate. For example, the osculation point of the phase velocity curve is the critical point at which ellipticity curve changes its property from having two peaks to having one peak and one zero-point. This concept is demonstrated analytically for the model “layer with fixed bottom“. An important property of this model is that its dispersion equation only depends on Poisson’s ratio and not on mass density. We present analytically the behaviour of the  $H/V$  ratio for the whole range of Poisson’s ratio and compare it with numerical results.

Olivier Sèbe (CEA/DASE, Bruyères le Châtel) , Thomas Forbriger , Joachim Ritter

## **The shear wave velocity underneath Bucharest City inferred from Love waves**

Email: [olivier.sebe@cea.fr](mailto:olivier.sebe@cea.fr)

We use Love waves from regional events recorded during the Urban Seismology Project (URS) to infer the structure beneath Bucharest City. The Love wave dispersion shows a distinct variation from high phase velocities in the south to low velocities in the north of the city. We are able to explain the phase velocity dispersion by a simple model with linearly increasing velocity with depth in the upper part and an underlying homogeneous halfspace. Both are separated by a discontinuity, which is believed to be the interface between the Cretaceous and the Neogene at increasing depth (from 1000 m in the south to 1500 m in the north). These results close a gap between existing velocity models from shallow seismics and VSP recordings near the surface (down to 100 m depth) and models for the crustal structure (2 km and deeper) from seismic refraction studies.

Data was recorded by a network of 34 seismometers from the Karlsruhe Broadband Array (KAB-BA) which were installed in the city of Bucharest during the URS project. They recorded continuously from October 2003 until August 2004. From this dataset Love waves of 8 regional events with sufficient frequency content and signal to noise ratio could be used for the analysis. The signals of the fundamental mode were extracted at each station. The Fourier coefficients for these signals were fitted by plane waves with non-uniform phase velocity. This way we obtain dispersion curves where phase slowness varies linearly with latitude. By application of the Neighbourhood Algorithm (as presented in the *geopsy* package) we obtained subsurface models for three different locations in the city. It was necessary to use the depth of the interface between the Cretaceous and the Neogene as known from boreholes as a priori data to resolve a trade-off between the shallow velocity and the depth of the interface.

The results of this study contribute to seismic hazard mitigation for Bucharest in the framework of the CRC 461 Strong Earthquakes. Bucharest city, the capital of Romania, is one of the most endangered European cities with more than three nearby earthquakes of magnitude 7.0 or higher per century. The URS project was funded by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) and the National Institute for Earth Physics (NIEP) at Bucharest-Magurele.

Denis Anikiev , Dirk Gajewski (Universität Hamburg) , Boris Kashtan , Ekkehart Tessmer , Claudia Vanelle

## Source Location by a Diffraction Stack

Email: dirk.gajewski@zmaw.de

The localization of seismic events is a fundamental problem in seismology. The passive seismic method obtains a lot of attention in the hydrocarbon industry these days where it is used as a tool for reservoir monitoring and hydro frac imaging. Currently, huge passive acquisitions are performed particularly for deposits which display poor 4-D signatures like carbonate reservoirs. The observing arrays have reached an extent of up to several hundred receivers in the recording networks which may be placed downhole and/or at the surface. These large numbers of receivers do not allow to process the data in the classical way by picking events and correlating it throughout the network.

Recently wavefield back projection techniques based on time reversal and modeling were suggested to remedy this problem. These techniques do not require any picking of events. The computational demand, however, is fairly high. Here we suggest an alternative method to back project the data which is based on a diffraction stack. The squared amplitudes of the seismograms of the network are stacked along diffraction traveltime curves, which are generated for each subsurface point of the discretized velocity model. This stack is performed for any time within the recording window. The source location corresponds to the position and time which displays the maximum amplitude of the stack. The procedure leads to very good locations of point source events, if the correct velocities are known. Moreover, due to the stacking of energy involved even very weak events not detectable in the individual seismograms of the network can be imaged. By adopting an additional integration over velocities media with poor velocity information can be considered. First numerical results indicate that this procedure leads to reasonable location, even if the velocity model is not precisely known.



Stefan Baisch (Q-con GmbH) , Ralph Weidler , Robert Vörös

## **Injektionsinduzierte Seismizität im Cooper Basin (Australien) - Charakterisierung und Kartierung eines Geothermischen Reservoirs**

Email: [baisch@q-con.de](mailto:baisch@q-con.de)

Zur Verbesserung der Wasserdurchlässigkeit wurden im geothermischen Reservoir „Cooper Basin“ mehr als 20,000 m<sup>3</sup> Flüssigkeit unter hohem Druck verpresst. Während dieser Stimulationsmaßnahmen wurden mehr als 27,000 induzierte Mikroerdbeben ( $M=-2$  bis  $M=3.6$ ) von einem lokalen, 8-elementigen seismischen Netzwerk registriert. Unter Verwendung eines gemittelten Geschwindigkeitsmodells, welches über den Injektionspunkt an der Bohrung kalibriert wurde, konnten Hypozentren für mehr als 11,000 Mikroerdbeben bestimmt werden. Die daraus resultierende räumliche Hypozentrenverteilung bildet eine subhorizontale Struktur mit einer lateralen Erstreckung von 2 km x 1.5 km. Die scheinbare Mächtigkeit dieser Struktur liegt mit 150 – 200 m in der Größenordnung der Lokalisierungsungeauigkeit. Mittels hochauflösender Relativlokalisierungen von Gruppen benachbarter Ereignisse reduziert sich die scheinbare Mächtigkeit der Hypozentrenverteilung um eine Größenordnung. Dieses deutet darauf hin, dass die Seismizität auf einer einzelnen Risszone mit einer Mächtigkeit im Meter-Bereich stattgefunden hat. Die Existenz dieser Risszone konnte durch eine Folgebohrung nachgewiesen werden; dabei wurde die extrem permeable Risszone innerhalb von 15 m von der vorhergesagten Tiefe erbohrt.

Während der Stimulation weist die raum-zeitliche Entwicklung der induzierten Seismizität ein systematisches Verhalten auf. Ähnlich der räumlichen Propagation des hydraulischen Überdrucks migriert die induzierte Seismizität mit fortschreitender Zeit vom Injektionspunkt weg. Gleichzeitig weist die seismische Aktivität eine Korrelation mit dem hydraulischen Überdruck auf. Diese Beobachtung bestärken vorangegangene Interpretationen, bei denen die induzierte Seismizität mittels Herabsetzung der effektiven Normalspannung durch den Flüssigkeitsüberdruck erklärt wird.

Literatur: Baisch, S., Weidler, R., Vörös, R., Wyborn, D., and L. DeGraaf, 2006. Induced seismicity during the stimulation of a geothermal HFR reservoir in the Cooper Basin (Australia). Bull. Seism. Soc. Amer., 96 (6), 2242-2256.

Carsten Riedel (Centro de Vulcanologia e Avaliaçao de Riscos Geologicos) , Nicolau Wallenstein , Dina Silveira , Carla Lopes , Maria Escuer , Rita Silva

## **The seismicity of Sao Miguel island (Azores) as recorded by permanent and temporal monitoring networks**

Email: [carsten.riedel@azores.gov.pt](mailto:carsten.riedel@azores.gov.pt)

The Azores archipelago in the North Atlantic is situated in a leaky transform environment between the Gloria Fault, which is part of the European-African plate boundary, in the east and the Mid-Atlantic Ridge in the west. The Mid-Atlantic Ridge loses its pronounced rift valley within the latitudes occupied by the Azores islands and a second ultra-slow spreading ridge called the Terceira Rift takes over most of the rifting activity. Close to the southeastern end of the Terceira Rift the Oriental Group of the Azores is located, i.e. the islands of Santa Maria and Sao Miguel. Sao Miguel and its surroundings have been the most seismically active place in the whole archipelago over historical time and hosted a couple of volcanic eruptions with the last offshore one occurring at the beginning of the last century. The two most productive volcanic systems are Fogo and Furnas volcanoes in the centre of the island and they both encompass the most seismically active area, called the Congro area. Fogo volcano is also base of a geothermal power plant which has been implemented at the end of the 1980s. In the last decade considerable effort has been taken to expand the monitoring network for earthquakes and volcanoes and understand the structure of the island, its geodynamical situation and the source of the natural hazards occurring there. The presentation will give an overview of parameters and experiences gained from the seismological work involved in this, which are currently further explored by the european VO-LUME project.

Jörn Groos (Geophysikalisches Institut, Universität Karlsruhe) , Joachim Ritter

## Analyse des seismischen Rauschens im Großraum Bukarest

Email: joern.groos@gpi.uni-karlsruhe.de

Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 461 "Starkbeben: Von geowissenschaftlichen Grundlagen zu Ingenieurmaßnahmen" wurde von Oktober 2003 bis August 2004 in der rumänischen Hauptstadt Bukarest das URban Seismology-Projekt (URS) durchgeführt. Die 2-Millionen Stadt Bukarest wird durchschnittlich pro Jahrhundert von drei Erdbeben mit Magnituden größer 7 aus der nahegelegenen Vrancea-Zone erschüttert, die in der Vergangenheit häufig zu großen Schäden und Todesopfern führten. Hauptziel des Projekts ist die Erkundung der Untergrundbeschaffenheit im Großraum Bukarest als wichtige Grundlage für alle Ingenieurmaßnahmen zum Schutz von Einwohnern und städtischer Infrastruktur. Zu diesem Zweck wurde mit dem mobilen KARlsruher BreitBand Array (KABBA) von Oktober 2003 bis August 2004 mit 31 Seismometern an 34 Standorten im Großraum Bukarest die Bodenschwinggeschwindigkeit kontinuierlich gemessen. Dabei wurde eine enge und gleichmässige Überdeckung des Innenstadtbereichs angestrebt. Es wurden mehrheitlich STS-2 Seismometer mit einer Eigenperiode von 120 Sekunden verwendet und alle Stationen mit einer Abtastrate von 100 Hz betrieben. Dieser Datensatz ermöglicht die Untersuchung des urbanen seismischen Rauschens im Frequenzbereich von 8 mHz bis 45 Hz in Abhängigkeit von Zeit und Ort. Für Techniken die mit Hilfe von Messungen des seismischen Rauschens die oberflächennahe Untergrundbeschaffenheit erkunden, ist eine gute Kenntnis des urbanen seismischen Rauschens von großem Interesse.

Die Variabilität des seismischen Rauschens wurde mit Hilfe von Langzeitspektrogrammen mit einer Länge von bis zu 28 Tagen untersucht. Zur Quantifizierung des seismischen Rauschens im Frequenzbereich wurden Leistungsdichtespektren berechnet und mit dem New Global Noise Model von Peterson (1993) verglichen. Für die Bestimmung von Rauschamplituden im Zeitbereich wurde ein auf der Häufigkeitsverteilung der seismologischen Zeitreihe basierender statistischer Ansatz verwendet (siehe auch Poster SO47). Es konnten verschiedene natürliche und anthropogene Quellen seismischer Bodenbewegung identifiziert und teilweise mit Array-Techniken lokalisiert werden.

Dieser Vortrag wird die wichtigsten Erkenntnisse über die Quellen seismischer Bodenbewegung im urbanen Umfeld und die zeitliche und örtliche Abhängigkeit des seismischen Rauschens im Großraum Bukarest präsentieren.

Peterson, J. (1993). Observations and modelling of seismic background noise. U.S. Department of Inte-

rior, Geological Survey Open-File Report 93-322.

Britta Wawerzinek (Geophysikalisches Institut, Universität Karlsruhe) , Joachim Ritter , Michael Landes , Michael Jordan

## Teleseismische Tomographie in Irland

Email: [britta.wawerzinek@gpi.uni-karlsruhe.de](mailto:britta.wawerzinek@gpi.uni-karlsruhe.de)

Im Juni 1996 fand das VARNET96-Experiment (VARiscan NETwork) in Südwestirland statt. Das Ziel der refraktionsseismischen Messung war es, den Einfluss der variskischen und kaledonischen Gebirgsbildung auf die Krustenstruktur zu untersuchen. Während des Experiments wurden sieben teleseismische Ereignisse aufgezeichnet. Für drei der Ereignisse berechnete man relative Laufzeitresiduen. Diese zeigen für die Ereignisse aus nord- bzw. nordöstlicher Richtung eine starke Variation (0,5 s auf 170 km Profillänge), wobei sich die Wellenankunft von Nord nach Süd verzögert (Masson et al., Tectonophysics, 1999). Diese relativen Residuen können nicht durch das Krustenmodell, das aus VARNET96 resultiert, erklärt werden. Die Ursache der Residuenvariation von Nord nach Süd liegt somit unterhalb der Kruste.

Mit Hilfe des Nachfolgeprojekts Irish Seismological Lithospheric Experiment (ISLE) wird nun die Tiefenstruktur der Lithosphäre und der Asthenosphäre untersucht. Von November 2002 bis Juli 2003 zeichneten 15 Breitband- und 8 kurzperiodische Stationen in Südirland teleseismische Erdbeben auf. Die Daten dieser passiven Messung wurden mit Daten von 5 Permanentstationen in Irland vervollständigt. Ein erstes wichtiges Ergebnis (aus S-Receiver Funktionen) ist die Verdünnung der Lithosphäre von Süd nach Nord, welche in Zusammenhang mit dem tertiären Vulkanismus in Nordirland und dem Proto-Island Plume gebracht wird (Landes et al., EPSL, 2007).

Zur weiteren Untersuchung dieser tiefen Anomalien wird die Geschwindigkeitsstruktur unterhalb des Netzwerks analysiert. Dabei werden aus dem ISLE-Datensatz teleseismische Laufzeitresiduen von P-Wellen berechnet. Die relativen krustenkorrigierten Laufzeitresiduen werden mit Hilfe der Joint Inversion (Jordan, Diss., Universität Göttingen, 2003) in ein 3D Untergrundabbild der Geschwindigkeitsstruktur unter Südirland invertiert. Im Gegensatz zum ACH-Verfahren verwendet die Joint Inversion eine variable Parametrisierung des Modellraums und 3D Raytracing. Die nicht-lineare Inversion wird mittels iterativer Berechnung gelöst. Das resultierende Untergrundabbild der Geschwindigkeitsstruktur zeigt die Änderung der Geschwindigkeit relativ zum verwendeten Hintergrundmodell (hier iasp91) an. Das Ergebnis der nicht-linearen Inversion zeigt eine Anomalie mit verringerter Geschwindigkeit im Norden und erhöhter Geschwindigkeit im Westen des Netzwerks in einer Tiefe von 31 bis 120 km. Die

Niedriggeschwindigkeitszone im Norden von Irland wird mit der bereits gefundenen Lithosphärenverdünnung bzw. Asthenosphärenaufwölbung aus den S-Receiver Funktionen in Verbindung gebracht.

Thomas Forbriger (BFO, Schiltach und GPI, Karlsruhe)

## Beschränkung von H/V-Analysen durch Neigungen bei langen Perioden

Email: [Thomas.Forbriger@gpi.uni-karlsruhe.de](mailto:Thomas.Forbriger@gpi.uni-karlsruhe.de)

In den H/V Spektrenverhältnissen für die Daten des Urban Seismology Projekts (URS) beobachten wir typischerweise einen starken Anstieg mit abnehmender Frequenz unter 0,2 Hz. Dieser Anstieg verdeckt in manchen Teilen der Daten ein Maximum bei ca. 0,2 Hz, das ansonsten an allen 34 Standorten im Stadtgebiet von Bukarest (Rumänien) über einen Zeitraum von mehreren Monaten beobachtbar ist. Durch lokale Neigungen aufgrund von Auflasten (z.B. durch Fahrzeuge) in einem Abstand zum Seismometer von bis zu 50 m kann diese Beobachtung erklärt werden.

H/V Spektrenverhältnisse werden häufig als bequemes Werkzeug zur Untersuchung des lokalen Untergrundes eingesetzt, insbesondere in dicht besiedelten Gebieten. Die Methode verwendet das Signal des seismischen Hintergrundrauschens und ist unabhängig von aktiven Quellen und Erdbeben. Sie benötigt die Registrierungen von nur einem einzelnen Seismometer mit drei Komponenten. Allerdings leidet die Methode darunter, dass in der Regel die Zusammensetzung des Wellenfeldes unbekannt ist. Häufig werden die H/V Spektrenverhältnisse als Elliptizität der Rayleigh Grundmode interpretiert. Andere Bodenbewegungen, Wellentypen und höhere Moden können aber auch zum Signal beitragen.

Bei tiefen Frequenzen dominiert die Schwerebeschleunigung die durch Neigungen eingekoppelt wird über die Inertialbeschleunigung der Horizontalkomponenten. Da dieser Effekt in der Vertikalkomponente nur in zweiter Ordnung auftritt, müssen die H/V Werte zu tiefen Frequenzen zunehmen. Ich zeige quantitative Berechnungen für diesen Effekt für den Fall von Auflasten auf die Erdoberfläche und für durch Rayleigh-Wellen erzeugte Neigungen der Erdoberfläche. Ein Vergleich mit Auswertungen der URS-Daten weist auf einen deutlichen Einfluss lokaler Auflasten hin.

Birger-G. Lühr (GFZ Potsdam, Tel.: +49-331-28801206, Fax: +49-331-28801204) , I. Koulakov , M. Bohm , G. Asch , A. Manzanares , Kirbani S. Brotopuspito , D. Wagner , Heidrun Kopp , W. Rabbel

## **MERAMEX - Seismische Struktur unter Zentraljava, ein Teil der Sunda Arc Subduktion**

Email: ase@gfz-potsdam.de

Zentraljava ist Teil des Sundabogens, der zu den aktiven Kollisionsgürtel der Erde mit hohem Gefährdungspotential gehört, wie das Bantul-Beben mit 6000 Todesopfern im Mai 2005 demonstrierte. Im Rahmen des BMBF GETECHNOLOGIEN Programms: "Kontinentränder: Brennpunkte im Nutzungs- und Gefährdungspotenzial der Erde", konnte 2004 in einem aussergewöhnlichen amphibischen Experiment ein einmaliger Datensatz bestehend aus seismologischen Ereignissen und seismischen Luftpulsar-Aufzeichnungen gewonnen werden. Im MERAMEX Teilprojekt (Projekt SUNDAARC) wurde dabei mit einem Netz aus mehr als 100 seismischen Stationen, aufgestellt in einem Gebiet von 150 km x 200 km Zentraljavas, und mit 14 OBS / OBH Stationen seeseitig im Süden vor der Küste, über einen Zeitraum von 5 Monaten Erdbeben registriert. Für eine tomographische Modellierung stehen jetzt mindestens 3 bis 4 lokale Beben pro Tag zur Verfügung.

Das Aufzeichnen der natürlichen Seismizität und deren Verteilung im Subduktionsbereich von Zentraljava ermöglicht die dreidimensionale Darstellung des strukturellen Aufbaus der gesamten Lithosphäre oberhalb der Benioff Fläche mit Hilfe tomographischer Verfahren, und damit auch des gesamten Aufstiegsfadbereichs der Fluide und Schmelzen, die für Vulkanismus verantwortlich sind, von ihrer Entstehung beim Austritt aus der abtauchenden ozeanischen Platte bis in die obersten Krustenstockwerke. Die lokalisierten Beben zeigen den Verlauf der Benioff-Zone als ca. 30 km dicke Doppelschicht im Tiefenbereich von 80-150 km. Die abtauchende ozeanische Platte verläuft danach vom Tiefseegraben bis zu einer Entfernung von 150 km nahezu horizontal. Zwischen 150 und 250 km Entfernung beträgt der Subduktionswinkel etwa 45°. Für den Bereich bis 600 km Tiefe lässt sich mit ISC-Daten ein steiles Einfallen nach Norden mit einem Winkel um 70° abschätzen. Erste Laufzeit-Tomographische Untersuchungen ergeben eine ausgeprägte Zone erniedrigter Geschwindigkeit in der Kruste zwischen dem Merapi und dem Vulkan Lawu (Grenze zu Ostjava), die bis in den oberen Mantel reicht. An Stationen über dieser anomalen Zone lassen sich insbesondere bei den registrierten Scherwellensignalen starke Dämpfungseffekte beobachten, was ein Hinweis sein kann auf Fluide bzw. partielle Schmelzen in diesem Krustenbereich. Des weitern ergeben sich relativ hohe  $V_p/V_s$ -Verhältnisse für die Anomalie mit Werten um 1,9. Die Lage der Anomalie korreliert

sehr gut mit einer negativen Schwere-Anomalie in diesem Bereich. Die Vulkane wie Sumbing, Merapi, und Lawu liegen offensichtlich direkt über dem vorderen Randbereich der Geschwindigkeitsanomalie und nicht über dem Zentralbereich. Grund hierfür könnte ein massiver Aufstieg von Fluiden entlang der Grenze zwischen rigidem Forearc, der sich durch hohe seismische Geschwindigkeiten auszeichnet, und dem Backarc-Bereich mit niedrigen Geschwindigkeiten. Mehr Klarheit wird in Zukunft die Anwendung der Methode der Dämpfungstomographie (Qp), sowie eine gemeinsame Interpretation aller Teilergebnisse des Projektes ergeben.

Daniela Kühn (Institut für Geophysik, Universität Hamburg) , Matthias Ohrnberger , Daniel Vollmer , Torsten Dahm , Frank Scherbaum , Ali Dehghani

## **Kartierung eines flachliegenden Salzdiapirs unterhalb des dichtbebauten Stadtgebiets Hamburgs durch Aufzeichnung der natürlichen seismischen Bodenunruhe**

Email: [daniela.kuehn@zmaw.de](mailto:daniela.kuehn@zmaw.de)

Hamburgs Stadtgebiet läßt sich geologisch durch schwach verfestigte Sedimente in geringen Tiefen und ihre Unterlagerung durch fünf Salzstöcke charakterisieren. Subrosion und Verkarstung können zur Bildung von Erdfällen und Lösungsdolinen führen. Innerhalb des letzten Jahrhunderts fanden 20 Einsturzbeben in Hamburg statt. Bisher sind mehr als 30 Erdfälle und Dolinen im Stadtgebiet bekannt. Wir untersuchen den prominentesten dieser Salzdiapire (der Othmarschen-Langenefelde-Diapir), der eine Ausdehnung von mehr als 5x12 qkm besitzt. Da die Anwendung aktiver seismischer Verfahren in bebautem Gebiet nur sehr eingeschränkt möglich ist, nutzen wir die natürliche seismische Bodenunruhe, um die Tiefenlage der Salzstockoberfläche zu kartieren, die einem starken Scherwellen-Impedanzkontrast entspricht.

Es werden sowohl Einzelstations- als auch Arraymessungen durchgeführt. Für die Einzelstationsmessungen wird das Verhältnis aus horizontalen zu vertikalen Spektren (H/V-Methode) untersucht. Eine sogenannte Peakfrequenz weist auf die Existenz eines Scherwellen-Impedanzkontrasts im Untergrund hin, dessen Tiefenlage durch Kalibration mit z.B. Bohrlochdaten ermittelt werden kann. Aus den Arraymessungen kann eine Rayleighwellen-Dispersionskurve erstellt werden, aus der sich nach Inversion ein Scherwellengeschwindigkeitsprofil am Ort der Messung ergibt. Um eine hohe Qualität der Dispersionskurven zu gewährleisten, muß die Aufzeichnung über einen möglichst breiten Frequenzbereich erfolgen. Um die dafür erforderliche wiederholte Aufstellung der seismischen Stationen zu vereinfachen, entwickeln wir ein kabelloses Arraysystem, das es ermöglicht, die Auswertung in nahezu Echtzeit während der Messung durchzuführen.

Bisher wurden 11 Arraymessungen mit jeweils 3-8 Geometrien realisiert. Der größte Arraydurchmesser betrug 600 m in dichtbesiedeltem und 1 km in unbebautem Gebiet. Zusätzlich wurden ca. 200 Einzelstationsmessungen durchgeführt. Die daraus resultierende Lage des Salzstockrands unterscheidet sich von der Interpretation der wenigen vorhandenen refraktionsseismischen Profile. In Bereichen, in denen der Salzstock nahe der Oberfläche ansteht, können strukturelle Einzelheiten aufgelöst werden. Die aus den H/V-Messungen interpretierte Form des Salzdiapirs stimmt gut mit der gravimetrischen Anomalie überein, die aus einer Studie mit bislang mehr als

500 Meßpunkten abgeleitet wurde.

Danksagung: Das Projekt HADU wird vom BMBF im Programm GEOTECHNOLOGIEN finanziert.

Torsten Dahm (Institut für Geophysik, Universität Hamburg) , Frank Krüger

## **Tiefe Spannungsänderungen durch die Kompaktion von Rotliegend-Gasfelder in Norddeutschland: Ein Potential für die Auslösung von Erdbeben?**

Email: [torsten.dahm@zmaw.de](mailto:torsten.dahm@zmaw.de)

Im Oktober 2004 ereignete sich in Norddeutschland nahe Rotenburg ein Mw 4.4 Erdbeben in etwa 5-7 km Tiefe. Das Epizentrum lag inmitten von produktionsstarken Rotliegend-Gasfeldern mit Produktionsintervallen in 4-4.5 km Tiefe, weshalb dieses Beben von uns als möglicherweise getriggert klassifiziert wurde (Dahm et al. 2007, BSSA).

Mit Hilfe eines einfachen poro-elastischen Ansatzes und einer 3-D Randelement-Methode untersuchen wir vergleichend die relative theoretische Entleerung, Kompaktion und Oberflächenabsenkung von unterschiedlichen Rotliegend-Feldern in Norddeutschland. Die relative Kompaktion wird zur Abschätzung der Scherspannungsänderung auf benachbarten, aus der Seismik bekannten, passiven Verwerfungen benutzt.

Die ersten Ergebnisse zeigen, daß das Rotenburg-Erdbeben in einem Bereich erhöhter Scherspannung einer Verwerfung auftrat. Die Größe der Bruchfläche des Hauptbebens und die Lokation der Nachbeben wurde scheinbar durch die Scherspannungsperturbation infolge der Gasproduktion kontrolliert.

Die Untersuchung wird zur Abschätzung der relativen Scherspannungsänderung auf weiteren Verwerfungen an benachbarten Feldern ausgedehnt, um das aktuelle Potential für die Erdbeben-Triggerung einzugrenzen. Wir diskutieren unter der Annahme einer konstanten Produktionsrate Vorhersagen über die nach unserem Modell zu erwartenden zukünftigen relativen Scherspannungsänderungen.



D. Wagner (Institut für Geowissenschaften, Abt. Geophysik, CAU Kiel) , W. Rabbel , I. Koulakov , Andreas Wittwer , B.-G. Luehr , Heidrun Kopp

## **Tomographic results and their interpretations of only active, and active & passive seismic data in Central Java, Indonesia**

Email: [diana@geophysik.uni-kiel.de](mailto:diana@geophysik.uni-kiel.de)

The MERAMEX- MERapi AMphibious EXperiments were conducted in 2004 to study the tectonic structure of Central Java and to get a better understanding of the linkage between subduction and arc volcanism. A unique data set consisting of seismological, reflection, refraction, magnetic and gravimetric data was acquired in the framework of the BMBF GEOTECHNOLOGIEN Program in 2004.

The temporary seismological network consisted of 106 continuously recording short-period three-component seismometers and 14 ocean bottom seismic stations. The network was in operation for five months. Supplementary, active seismic experiments were carried out offshore. Two dip lines reach from close to the southern coast, across the trench up to the oceanic plate. The third profile is oriented coast parallel crossing the two dip lines. The main objective of the profiles was to reveal the tectonic setting of the subduction zone on- and offshore Central Java. Tomographic studies of only active and active and passive seismic data simultaneously were performed. The active data set comprises 50060 first arrival travel time picks of the airgun shots recorded onshore, while the passive data set includes 13800 P- and S-phases from 292 local events. The airgun signals were also recorded on ocean bottom hydrophone (OBH) stations deployed along the seismic profiles. The OBH data were forward modelled and provided P-velocity information on the study region, which was used to generate a one-dimensional background velocity model for the tomographic studies.

Two main features of the tomographic studies will be discussed in detail:

1. A strong low-velocity anomaly with amplitudes over -30 % is located just northward of the volcanoes Sumbing, Merapi and Lawu in the backarc crust. The tomographic studies using only active data show just the southern edge of this large low-velocity anomaly located in the present-day volcanic arc due to limited offsets. The joint inversion of active and passive seismic data resulted in a detailed image of the low-velocity zone in the crust and upper mantle up to a depth of 50 km. The low-velocity anomaly can be interpreted as the result of multiple magma reservoirs and ascending feeder systems of the volcanic systems of Central Java.

2. The active data provides much higher accuracy in the earth's upper crust than the passive data. Therefore, a low-velocity structure aligned in NNE-SSW direction that separates the rigid forearc into two

blocks could be detected more clearly in the studies dealing with only active data. This anomaly is adjacent to the hypocenter location of the May 26, 2006 Java earthquake.

Xueqing Li , Xiaohui Yuan (GeoForschungsZentrum Potsdam) , Rainer Kind

## **Global measurements of the mantle transition zone discontinuities by receiver functions**

Email: yuan@gfz-potsdam.de

Upper mantle discontinuities at depths around 410 and 660 km are global structures and have great importance in understanding the mantle convection mode. The 410 and 660 km seismic discontinuities define the mantle transition zone that separates the upper and lower mantle. The discontinuities are generally accepted to be phase changes in mantle mineralogy due to pressure and temperature variations in the Earth's interior. The equilibrium depth positions may be altered by temperature variations, and are often related to tectonic features at shallower depths. We use receiver function technique to study the mantle discontinuities by identifying P-to-S converted phases produced by the discontinuities. Here we show new receiver functions calculated for 250 global permanent seismic stations, together with earlier results of 130 stations. Most of the stations are located on continents. Results revealed significant variations in the arrival times of the 410 and 660 km discontinuity phases and a good correlation between them. The variations in the timing of the discontinuity phases may be caused both by the variations in the upper mantle P and S wave velocities and by the topography of the discontinuities. The mantle transition zone thickness, measured by differential times of the 410 and 660 km discontinuity phases, deviates by -35 km to +20 km from that predicted by the IASP91 model and changes according to mantle temperature, e.g., the transition zone is thick in subduction zones and thin within mantle plumes. The correlation of the arrival times of the 410 and 660 km discontinuity phases are closely related to the upper mantle velocities above them, therefore, reflecting the tectonic features in the upper mantle. We found a good correlation between the arrival times of the 410 km discontinuity phase and the thickness of the lithosphere, derived by surface wave inversion. This may indicate that the variation of the lithospheric thickness is the most significant heterogeneity in the upper mantle.

Julia Ziehm (Geophysikalisches Institut, Universität Karlsruhe) , Thomas Forbriger

## **Untersuchung der Stabilität von H/V–Spektralverhältnissen in Bukarest**

Email: [Julia.Ziehm@gpi.uni-karlsruhe.de](mailto:Julia.Ziehm@gpi.uni-karlsruhe.de)

In der Zeit von Oktober 2003 bis August 2004 wurden in Bukarest im Rahmen des URS-Projekts an 32 Breitbandstationen 9 Monate lang kontinuierlich Daten auf gezeichnet. Anhand des Hintergrundrauschens dieses Datensatzes wurde die zeitliche Stabilität von H/V–Spektralverhältnissen mit Hilfe des Programms *Geopsy* untersucht. Dabei zeichneten sich zwei Maxima (bei ca. 0,2 Hz und 0,7 Hz) ab, die sich sowohl zeitlich, als auch räumlich über das ganze Stadtgebiet als erstaunlich stabil erwiesen. Ein signifikanter Einfluss auf Grund von zeitlich veränderlichen Signalquellen konnte daher ausgeschlossen werden. Lediglich im Frequenzbereich des Maximums bei  $\sim 0,2$  Hz wurden jahreszeitliche Schwankungen der Amplitude des H/V–Spektralverhältnisses beobachtet.

Im sedimentären Untergrund von Bukarest existiert in Oberflächennähe keine signifikante Diskontinuität, die für das Maximum bei 0,7 Hz verantwortlich sein könnte. Das Maximum bei  $\sim 0,2$  Hz zeigt über das Stadtgebiet verteilt an den Stationen von Süden nach Norden Frequenzvariationen von 0,25 Hz zu 0,09 Hz und könnte auf eine Zunahme der Tiefe einer Diskontinuität von Süden nach Norden hinweisen.

Aus Bohrlochlogs und der Analyse von Oberflächenwellen liegen Geschwindigkeitsmodelle vor. Mit diesen können H/V–Spektralverhältnisse synthetischer Seismogramme berechnet werden. Anhand von Parameterstudien wird nach den Eigenschaften des Untergrundes gesucht, die zu den beiden Maxima im H/V–Spektralverhältnis führen.

Marco Bohnhoff (GeoForschungsZentrum Potsdam) , Mustafa Aktar , Fatih Bulut , Dean Childs , Georg esen , Ethem Görgün , Hayrullah Karabulut

## **Spatiotemporal variations of microseismic activity and stress-field orientation at the North Anatolian Fault after the Izmit 1999 earthquake: The role of fault asperities**

Email: bohnhoff@gfz-potsdam.de

The 1999 Mw=7.4 Izmit, earthquake represents the latest of a series of westward migrating mainshocks along the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) starting near Erzincan, Eastern Anatolia, in 1939. The Izmit event ruptured a 140 km long segment of the NAFZ reaching from the eastern Sea of Marmara towards the Karadere segment and was extended by another 50 km towards the East only 87 days later by the Mw=7.1 Düzce earthquake. In a recently published study that focused on the analysis of Izmit-aftershock focal mechanisms a clear segmentation of dominant faulting regimes was identified along the rupture. The epicentral region and the Karadere segment in the East contained dominantly strike-slip but also normal faulting. In contrast, the area in between was mainly related to EW-oriented normal faulting delineating a small pull-apart structure. Stress-tensor inversions of the aftershock focal mechanisms show rotations of the local stresses following the Izmit mainshock indicating that the Izmit earthquake caused significant stress partitioning along the rupture. To further investigate spatiotemporal variations of aftershock occurrence and local stress-field rotations after the Izmit event we determined a total of 10000 aftershock hypocenters based on recordings from a 40-station network of the German Task Force for Earthquakes covering the entire rupture. Aftershock clusters define 4 individual fault segments of which the easternmost exhibits a sharp and steeply dipping boundary towards the East. This boundary was found to be stable throughout the recording period of 2 months. It was exactly at this location where the Düzce mainshock started to rupture suggesting that this segment represents a fault asperity along the NAFZ.

Lars Ceranna (BGR, Hannover) , Alexis Le Pichon

## **Lokalisierung von akustischen Quellen in Zentraleuropa mit Hilfe von Infreschallarrays**

Email: ceranna@sdac.hannover.bgr.de

Das 60-elementige Infreschallnetz des Internationalen Monitor Systems (IMS) für die Einhaltung des Atomwaffenteststoppvertrages (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty - CTBT) ist derzeit noch nicht vollständig aufgebaut. Davon unabhängig hat es bereits seine Leistungsfähigkeit hinsichtlich der Detektion und Lokalisierung von Infreschallquellen wie beispielsweise Boliden und Vulkanausbrüchen auf einem globalen Maßstab unter Beweis stellen können. Jedoch sind derartige Ereignisse mit bekannter Quelle und erheblicher Stärke sehr selten. Daher ist es notwendig, Regionen zu betrachten, in denen eine hohe Dichte an Infreschallstationen existiert, um Detektions- und Lokalisierungsverfahren zu überprüfen und zu kalibrieren. Zentraleuropa stellt eine derartige Region dar. Hier liegen die Bulletins der Infreschallstationen, die ihrerseits nicht alle Teil des IMS sind, für einen langen Zeitraum vor. Seit dem Jahr 2000 werden die Infreschalldaten der Stationen Flers (Frankreich) und I26DE (Deutschland) im Frequenzband von 0.02 bis 4 Hz automatisch in Echtzeit mit PMCC (Progressive MultiChannel Correlation) analysiert. Darüber hinaus werden die schwedischen Stationen in Uppsala, Lycksele, Jämtön und Kiruna routinemäßig im Frequenzband von 0.7 bis 4 Hz prozessiert. Seit dem Jahr 2005 ist die Station IGADDE nördlich von Bremen ebenfalls Teil des Netzes. Im Rahmen des Vortrages werden die Ergebnisse für die gemeinsamen Assoziierungen der Detektionen an den jeweiligen Stationen vorgestellt. Dabei hat sich durch die Hinzunahme der Bulletins von IGADDE die Leistungsfähigkeit des Netzes erheblich verbessert. Dank des langen Zeitraums von sieben Jahren können Zusammenhänge zwischen der Detektionsfähigkeit des Netzes und den saisonal variierenden Winden in der Stratosphäre aufgezeigt werden.

Aysun Nilay Dinc Akdogan (Christian-Albrechts Universitat zu Kiel, Germany) , Ivonne Arroyo , Martin Thorwart , Ivan Koulakov , Wolfgang Rabbel , Ernst Flueh

## **A combined tomographic inversion of two independent amphibious networks in Costa Rica**

Email: [nilay@geophysik.uni-kiel.de](mailto:nilay@geophysik.uni-kiel.de)

The subduction zone structure and related processes have been investigated with local earthquake tomography in Central Costa Rica. Two data sets of 3044 high quality events from two independent adjacent amphibious networks, JACO and QUEPOS were combined for a simultaneous inversion of hypocenter locations, 3-D P-wave velocities and  $V_p/V_s$  ratios. The problem of lack of the resolution at the intersection of the two networks was solved by a spatial overlap of the data, which is supposed to provide an improved interpolation. The synthetic tests confirm the reliability of the solutions and indicate that the study area is well constrained down to 60 km depth. Depending on the results, the seismicity of the Wadati-Benioff zone decreases from northwest to south east Costa Rica. Plate interface seismicity extends from 12-20 km below sea level and interplate seismicity begins downdip of the plate interface which correlates with the intersection of the slab and the continental Moho which corresponds to 35-40 km depth. Crustal earthquakes occur at the edges of the low velocity zones.

Christian Haberland (Universität Potsdam) , Andreas Rietbrock , Dietrich Lange , Klaus Bataille , Torsten Dahm , TIPTEQ research group

## Velocity structure of the Southern Chilean subduction zone (37° and 39°S) revealed by the TIPTEQ local seismic network

Email: haber@geo.uni-potsdam.de

The largest earthquakes are being generated at convergent plate boundaries, where oceanic plates subduct beneath other tectonic plates. Understanding the factors leading to these earthquakes in the coupling zone of convergent margins and their interrelation with surface deformation are the main aims of the international and interdisciplinary research initiative TIPTEQ (From The Incoming Plate To megaThrust EarthQuake Processes). High resolution images of the seismogenic zone and the forearc structure form the base for identifying the processes involved.

Within this project a dense, temporary seismological network was installed in southern Chile between November 2004 and October 2005, covering the forearc between 37° and 39° S from the trench to the recent volcanic arc. In this region the Mw=9.5 1960 Chile earthquake, the worldwide largest instrumentally ever recorded earthquake, nucleated. The network consisted of up to 120 digitally recording and continuously running seismic stations equipped with short period sensors. The network was complemented by 10 ocean bottom seismometers/hydrophones covering the offshore forearc.

More than 10.000 manually picked traveltimes observations (P and S picks) of about 300 local events were used for the simultaneous inversion for the 3-D velocity structure (vp and vp/vs), hypocenters, and station corrections (tomography, damped least squares inversion). Additionally, observations of 44 artificial shots of an accompanying reflection/refraction profile were added to the dataset. We employed a staggered inversion approach utilizing the previously calculated minimum 1-D model and subsequently coarse and fine 2-D velocity models as starting models. Grid spacing of the final model is 15 and 20 km (horizontally) and 5 km (10 km) vertically down to a depth of 50 km (100 km). Extensive synthetic tests give estimates for the resolution and reliability of our key observations.

The central forearc crust (between the coast and the longitudinal valley (LV) down to a depth of 50 km) is relatively uniform with average P velocities (vp) of between 6.3 and 6.9 km/s, and only little vertical structuring. Reduced vp beneath the LV can be associated with the shallow sedimentary fill. Low vp and a high P to S velocity ratio (vp/vs) reflect the presence of offshore forearc basins and possibly overpressured (sedimentary) rocks within the recent and permo-triassic accretionary wedge. The subduc-

ting plate is imaged down to a depth of 50 km by a pronounced dipping layer of high vp. Down to a depth of 30-40 km elevated vp/vs is found in the slab thus indicating the hydration of the oceanic plate. Mantle velocities already at a depth of 40 km beneath the LV are in contrast with low vp at the same depth range directly W of it. These low P velocities in this deep zone West of the LV might indicate a serpentinized mantle wedge. It seems, however, that no significantly elevated vp/vs is found in this zone.

Gunnar Jahnke (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)), Lars Ceranna, Nicolai Gestermann, Gernot Hartmann, Manfred Henger

## **Seismische Verifikation des nordkoreanischen Kernwaffentests vom 9. Oktober 2006 - Möglichkeiten und Grenzen**

Email: jahnke@sdac.hannover.bgr.de

Das Internationale Monitoring System (IMS) der CTBTO (Comprehensive Nuclear Test-Ban Treaty Organization) soll nach Fertigstellung in der Lage sein, an jedem beliebigen Ort der Erde eine Nuklearsprengung ab einer Sprengkraft von 1 kT zuverlässig zu entdecken, zu lokalisieren und zu identifizieren. Obwohl sich dieses System noch im Aufbau befindet, wird die kontinuierliche Überwachung bereits durchgeführt. Eine erste Bewährungsprobe bestand das IMS bei dem von Nord Korea am 9. Oktober 2006 durchgeführten Kernwaffentest. In dieser Arbeit wird das erreichte und das zu erwartende Detektions- und Identifikationsvermögen des IMS am Beispiel des nordkoreanischen Kernwaffentests untersucht. Benutzt werden sowohl registrierte Daten als auch synthetische Seismogramme. Aus den Ergebnissen wird eine Abschätzung der globalen Identifikationsfähigkeit des IMS abgeleitet. Außerdem wird der Einfluss von Topographie und 3D Variationen der seismischen Untergrundparameter auf das Wellenfeld und somit auf die Identifikation untersucht. Bei der verlässlichen Unterscheidung schwacher Nukleartests von Erdbeben ist die genaue Kenntnis des Einflusses des Untergrundes auf das Seismogramm von entscheidender Bedeutung. So können z.B. als Folge von lateralen Heterogenitäten entlang des Laufweges durch Konversion nachträglich S- und Oberflächenwellen entstehen, die eine Explosionsquelle im Seismogramm wie ein Erdbeben erscheinen lassen. Umgekehrt kann durch Dämpfungseffekte S-Energie verschwinden, was ebenso zu einer falschen Klassifikation führen kann. Um diese Effekte zu verstehen, wurden basierend auf vorhandenen seismischen Modellen der Region numerische Rechnungen durchgeführt. Durch systematische Variation der Modellparameter kann der Einfluss von 3D Strukturen auf das Wellenfeld quantifiziert werden. Als Modellierungsmethoden wurden unter anderem die Reflektivitätsmethode sowie Finite Differenzen Codes (2D und 3D) eingesetzt. Anhand der registrierten und synthetischen Daten wird unter anderem die Variation spektraler Amplitudenverhältnisse bestimmt und die Zuverlässigkeit dieses Kriteriums zur Diskrimination der nordkoreanischen Kernexplosion bewertet.



Sigward Funke (Universität Leipzig), Reinhard Mittag, Siegfried Wendt, Andrea Docekal, Michael Korn

## Das lokale seismische Netz SXNET in Sachsen - Konzept, Ergebnisse, Bebenfolge Werdau August/September 2006

Email: [sfunke@rz.uni-leipzig.de](mailto:sfunke@rz.uni-leipzig.de)

Das in Sachsen seit über 10 Jahren operierende seismische Netz wurde als Kombination von permanenten (Onlinenetz, kontinuierlich) und temporären Stationen (Offlinenetz, getriggert) konzipiert. Die Aufgabe der kontinuierlich registrierenden Stationen ist die Überwachung und langzeitige Erfassung der lokalen Seismizität des gesamten Gebietes, wohingegen die im Triggermodus laufenden Stationen für das Monitoring seismisch aktiver Cluster eingesetzt werden und ingenieurseismologische Untersuchungen zum Ziel haben.

Alle Onlinestationen werden als international registriertes und offenes Netz betrieben, so dass sie auch für das regionale und globale seismische Monitoring zur Verfügung stehen. Das Sachsennetz ist so konfiguriert, dass in Kombination mit den benachbarten lokalen Netzen WEBNET, KRASNET, OTSN und Bayrisches Netz und dem deutschen Regionalnetz eine gute Stationsüberdeckung der seismisch aktiven Region Vogtland/NW-Böhmen gegeben ist. Nördlich des Vogtlandes wird auch das übrige Westsachsen besser als bisher seismologisch erfasst.

Seit 2001 wurden über 600 lokale tektonische Beben mit Magnituden zwischen -0.8 und 2.8 detektiert und geortet. Die Beben konzentrieren sich auf Epizentren von Leipzig im Norden über den äußersten Südosten Sachsen-Anhalts (Zeitz), Ostthüringen (Altenburg-Gera) und das Vogtland bis zur sächsisch-tschechischen Grenze. Von Nord nach Süd nimmt die Zahl der Beben, besonders der kleinen, deutlich zu. Diese spezielle Verteilung ist sowohl durch den nach Süden zunehmenden Schwarmcharakter der Beben als auch die nach Süden abnehmende Detektionsschwelle verursacht. Im gesamten Untersuchungsgebiet ist die Vollständigkeit ab Magnituden von ca. 1.5 anzunehmen, im Vogtland bereits ab 0.5.

Für 31 Beben der Jahre 2002 bis 2006 im Magnitudenbereich zwischen 2.8 und 0.4 wurden unter Einbeziehung von Daten der Nachbarnetze und temporärer Stationen (BOHEMA 1 und 2) Herdflächenlösungen erarbeitet. Dabei überwiegen Blattverschiebungen, Abschiebungen und Übergangsformen. Viele Beben weisen eine Knotenfläche mit nord-südlichen bis nordwest-südöstlichen Richtungen auf und verlaufen parallel zu lokalen tektonischen Störungszonen.

Die seismotektonische Interpretation der Erdbebencluster spielt eine Schlüsselrolle bei der Klärung der Seismogenese der im Vogtland/NW-Böhmen auftretenden Intraplattenseismizität mit Schwarmbe-

bencharakter. Die aktuelle Auswertung der letzten Bebenfolge vom August/September 2006 im nördlichsten Bebencluster (Raum Werdau/Zwickau) und eine seismotektonische Modellierung mit Hilfe des GOCAD-Systems, welches eine Korrelation zum kartierten tektonischen Störungssystem ermöglicht, werden diskutiert.

Johannes Schweitzer (NORSAR)

## **Untersuchungen zum Nordseebeben vom 7. Januar 2007**

Email: johannes@norsar.no

Am 07 Januar 2007 ereignete sich um etwa 01:51 UT ein Erdbeben der Staerke mb 4.9 (EMSC) in der noerdlichen Nordsee. Der Herd lag in der Naehede des Kontinentalrandes im Bereich der westlichen Schulter des Nordseegrabens.

Das weltweit beobachtete Beben ist das staerkste seismische Ereignis in dieser Region seit einer Serie von Beben in den spaeten 80er Jahre des vorigen Jahrhunderts.

Im Vortrag sollen die Momententensorloesung des Herdvorganges basierend auf den Breitbandregistrierungen regionaler Stationen vorgestellt und mit den Herdloesungen bzw. Momenttensoren der Beben von vor ca. 20 Jahren verglichen werden.

Rolf Gutdeutsch (Universität Wien), Diethelm Kaiser, Peter Bormann

## Die Bedeutung der orthogonalen und der Chi-Quadrat-Regression zur Interpretation der Beziehung zwischen mb-Magnituden des Chinesischen Erdbebendienstes CENC und des NEIC

Email: diethelm.kaiser@bgr.de

Beim Vergleich von gleichartigen Magnituden z.B. des Chinesischen Erdbebendienstes  $x_i = mb(\text{CENC})_i$  und des U.S. National Earthquake Information Center  $y_i = mb(\text{NEIC})_i$  kann man davon ausgehen, dass die beste Anpassung der Steigung der Regressionsgeraden nicht viel von  $A = 1$  abweicht. Beide Datensätze  $x_i$  und  $y_i$  haben unbekannte initiale Fehler. Selbst das Verhältnis dieser Varianzen  $\eta = \sigma_{uu}/\sigma_{ee}$  kann nur abgeschätzt werden. Castellaro und Bormann haben die auftretenden Effekte an theoretischen statistischen Modellen mit vorgegebenen  $\sigma_{uu}$  und  $\sigma_{ee}$ -Werten untersucht. Dabei ist ihnen aufgefallen, dass die Steigung der orthogonalen Regression  $A_3$  ziemlich genau in der Mitte zwischen denen der Standardregressionen  $A_1$  und  $A_2$  liegt, wenn  $\eta = 1$  ist. Diese Beobachtung erscheint uns für die Anwendung so wichtig, dass wir sie mit einem analytischen Ansatz durch Einführung eines Parameters  $r$  geprüft haben, der im Falle der Mittellage den Wert 1 durchläuft. Wenn beide  $r$  und  $\eta$  gleich 1 sind, muss das aus  $A_1$  berechnete  $A_2 \rightarrow A_2^{(1)}$  die Beziehung  $A_2^{(1)} = (2 - A_1^2) / A_1$  erfüllen. Der Ansatz zeigt außerdem, dass die erwartete Mittellage  $r = 1$  nur dann erreicht wird, wenn  $A_1 \leq 1 \leq A_3$  ist. Es werden vier Formeln vorgestellt, die eine Abschätzung erlauben, wie gut in einem vorgegebenen Datensatz die Bedingungen der Mittellage  $r = 1$ ,  $\eta = 1$  sowie der berechneten Näherungen  $A_2^{(1)}$  aus  $A_1$  und  $A_1^{(2)}$  aus  $A_2$  erfüllt sind. Der Datensatz von 30828 Erdbeben ergibt mit den Werten  $A_1 = 0.887$ ,  $A_2 = 1.405$ ,  $A_3 = 1.149$ :

$$r^{(\eta=1)} = 1.019 (+1.9\%),$$

$$\eta^{(r=1)} = 0.983 (-1.2\%),$$

$$A_2^{(1)} = 1.367 (+2.7\%),$$

$$A_1^{(2)} = 0.876 (-1.2\%).$$

Beide  $r$  und  $\eta$  weichen um weniger als 2 % von 1 ab. Aus der Richtung der Abweichungen ist abzulesen, dass  $\sigma_{xx}$  im geringen Ausmaß kleiner ist als  $\sigma_{yy}$ . Insgesamt lässt sich der Schluß ziehen, dass für diesen Datensatz die orthogonale Regression die bestmögliche Anpassung ist.

**Literatur:** (1) Bormann, P., Liu Ruifeng, Ren Xiao, R. Gutdeutsch, D. Kaiser and S. Castellaro (2006). Chinese National Network Magnitudes, Their Relation to NEIC Magnitudes, and recommendations for New IASPEI Magnitude Standards,

*Bull. Seism. Soc. Am.*, 97, No. 1B. (2) Castellaro, S. and P. Bormann. Performance of different regression procedures on the magnitude conversion problem, (2006), submitted to *Bull. Seism. Soc. Am.* (3) Gutdeutsch, R., D. Kaiser, P. Bormann, Liu Ruifeng und Xiao Ren (2005). Regressionsanalyse zur Umrechnung zwischen Magnituden des chinesischen Erdbebendienstes und des NEIC, *Mitt. Deutsch. Geophys. Ges.* Nr. 2/2005, pp 14-22.

J. Schlittenhardt (Hannover/BGR) , X. Cong , K. Gutjahr , M. J. Canty , U. Soergel

## **The potential of combined seismological and differential InSAR processing in a CTBT verification scenario**

Email: j.schlittenhardt@bgr.de

Although satellite imagery analysis is not an element of the IMS (International Monitoring System) it can provide, especially in combination with seismology, important information for the CTBT (Comprehensive Nuclear Test-Ban Treaty) verification regime (see e.g. Canty & Schlittenhardt, 2001). For instance, synergy between seismic and satellite based data for the characterization of underground nuclear testing in the CTBT monitoring context was demonstrated through the application of the multispectral MAD (Multivariate Alteration Detection) technique to historical underground nuclear explosions detonated at the Nevada Test Site, USA, (Canty et al., 2005). In continuation of this work, the ability of DInSAR (Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar) techniques to reveal both coseismic and post-seismic subsidence signals caused by underground nuclear explosions, as reported by Vincent et al. (2003), is revisited using ERS-data over the Nevada Test Site. DInSAR will be further tested for the nuclear explosions in India and in DPRK (May 1998 and October 2006, respectively) and comparisons with the optical MAD change detection technique will be made using multispectral data of different resolution. Special emphasis will be placed on assessing whether the detected signals could be used in a CTBT verification scenario together with the seismically detected explosion signals to initiate and to guide an on-site-inspection (OSI).

This work has been carried out in part within the framework of the Global Monitoring for Security and Stability (GMOSS) Network of Excellence initiated by the European Commission.

### References:

Canty, M. J., Schlittenhardt, J., 2001. Satellite data used to locate site of 1998 Indian nuclear test, *Eos Trans. AGU*, 82(3), 25-29

Canty, M. J., Nielsen, A. A., Schlittenhardt, J., 2005, Sensitive change detection for remote monitoring of nuclear Treaties. Proceedings of the 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment, Global Monitoring for Sustainability and Security, St. Petersburg, Russia, 20-24 June 2005

Vincent et al., (2003), New signatures of underground nuclear tests revealed by satellite radar interferometry, *Geophys. Res Letters*, 30(22), 2141

Andreas Barth (Universität Karlsruhe, Heidelberger Akademie d.W.) , Friedemann Wenzel

## Frequenzabhängige Momententensorinversion am Beispiel Ostafrikas

Email: andreas.barth@gpi.uni-karlsruhe.de

Herdmechanismen von Beben mittlerer Magnitude sind ein wichtiger Beitrag zum Verständnis regionaler Tektonik. Eine vollständige Herdflächenbestimmung durch die *CMT*-Methode ist global nur für Erdbeben größer  $M_W \approx 5.5$  gegeben, so dass Beben unterhalb dieser Schwelle ein großes Potential bezüglich neuer Bruchmechanismen bieten.

Wir untersuchen die Anwendbarkeit der Momententensorinversion schwacher bis mittelstarker Beben ( $M_W \leq 5.5$ ) am Beispiel des östlichen Afrikas im Zeitraum von 1994–2002. In Ostafrika und den angrenzenden Regionen stehen 13 kontinuierlich aufzeichnende langperiodische Seismometer zur Verfügung, die bis zu 3300 km von den Epizentren entfernt sind. Wir verwenden die Methode der Momententensorinversion langperiodischer Raum- und Oberflächenwellen mit Perioden größer als 35 s für ein eindimensionales Erdmodell und zeigen, dass die Inversion teleseismischer Seismogramme für schwache und mittelstarke Beben abhängig vom invertierten Frequenzband ist. Zur Auswertung der Daten haben wir eine frequenzabhängige Prozedur entwickelt, die neben einem geeigneten Datensatz von Wellenformen mit hohem Signal-Rauschen-Verhältnis den optimalen Frequenzbereich bestimmt, bevor der Momententensor und die Hypozentraltiefe berechnet werden.

Als Kontrollparameter für eine stabile Inversion steht neben der Datenvarianz der Anteil eines einfachen Scherbruchs („double couple“, *DC*) am Momententensor zur Verfügung. Da speziell für kleine Beben solch ein einfacher *DC*-Bruchmechanismus häufig angenommen wird, werden nicht-*DC* Anteile allgemein auf inkonsistente Daten zurückgeführt. Um diesen Sachverhalt zu untersuchen haben wir eine Eigenvektorzerlegung durchgeführt, die zeigt, dass für die vorliegenden Momententensoren niedrige *DC*-Anteile zwar eine Konsequenz nicht erklärter Krustenheterogenitäten sein können, aber dadurch in den meisten Fällen der eigentliche Scherbruchmechanismus nicht verändert wird.

Die Inversion resultiert in 38 Momententensoren ( $M_W$  4.4–5.5) für Erdbeben für die bisher kein Herdmechanismus bekannt war und senkt damit die Schwelle für Herdmechanismenbestimmung in Ostafrika auf  $M_W \approx 5.0$ . Sowohl Datenvarianzen als auch *DC*-Anteile zeigen dabei die Verlässlichkeit der Inversionsergebnisse. Durch die Verwendung eines globalen Erdmodells ist die frequenzabhängige Momententensorinversion leicht auf andere Gebiete weltweit übertragbar und kann dazu beitragen die globale Magnitudenschwelle für Herdflächenbestimmung absenken.

Ingo Wölbern (Joh. Wolfgang Goethe-Universität), Benjamin Heit, Xiaohui Yuan, Günter Asch, Rainer Kind

## Eine Abbildung seismologischer Strukturen unter dem Altiplano-Puna-Plateau in den Zentralanden gewonnen aus konvertierten Phasen

Email: woelbern@geophysik.uni-frankfurt.de

Das Altiplano-Puna-Plateau stellt die dominierende Struktur der Zentralanden dar. Es lässt sich unterteilen in das nördliche Altiplano-Plateau mit einer durchschnittlichen Höhe von ca. 3,8 km und das südliche Puna-Plateau, welches sich im Durchschnitt einen Kilometer höher erhebt. Der Übergang liegt zwischen etwa 22°S und 23°S. Als Hauptursache für die enorme Höhe und die nahezu verdoppelte Krustenmächtigkeit wird Krustenverkürzung angenommen. Delamination der eklogitisierten Unterkruste zusammen mit der darunter liegenden Mantellithosphäre könnte ein weiterer wichtiger Faktor zur Erklärung der starken Heraushebung insbesondere des Puna-Plateaus sein.

Im Zeitraum von ungefähr März 2002 bis Januar 2004 wurde das seismologische **ReFuCA**-Projekt (Receiver Function Central Andes) im Rahmen des gemeinschaftlichen Forschungsprogramms *Deformationsprozesse in den Anden* (SFB-267) durchgeführt, um Krustenmächtigkeiten, Strukturen der Lithosphäre und des oberen Mantels sowie die Tiefe der subduzierenden Nazcaplatte anhand teleseismischer Daten zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurde vom GeoForschungsZentrum in Potsdam gemeinsam mit südamerikanischen Partnern ein 59 Stationen umfassendes Seismometer-Profil durch das Altiplano-Plateau bei etwa 21°S betrieben. Eine zweite Profillinie mit 19 Instrumenten wurde bei ca. 25,5°S im Puna-Plateau aufgebaut. Mit einem durchschnittlichen Stationsabstand von etwa 10 km konnte hierbei eine zuvor unerreichte Datendichte gewonnen werden.

Die Auswertung der Daten mit der Receiver Function-Methode ergab eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen einer unabhängig durchgeführten tomografischen Studie des selben Datensatzes. Danach werden bisherige Annahmen über die Tiefe der kontinentalen Moho bestätigt, die sich auf durchschnittlich 80 bis 60 km unter dem Altiplano bzw. auf etwa 65 bis 70 km unter dem Puna-Plateau beläuft. Die Lithosphären-Asthenosphären-Grenze konnte unter dem südlichen Profil in etwa 80 km nachgewiesen werden.

Die Moho der abtauchenden ozeanischen Platte ist bis in ca. 110 km Tiefe deutlich in den Receiver Functions sichtbar. Darüber hinaus ergab die Untersuchung Hinweise auf eine Reihe innerkrustaler Strukturen, die sich teilweise als geneigte Diskontinuitäten bis zu 30 km durch die Kruste abbilden. Eine Zone niedriger seismischer Geschwindigkeit innerhalb der Kruste ist in beiden Profilen präsent. Diese, sowie eine negative subkrustale Anomalie unter dem Altiplanoprofil deuten auf partielle Schmel-

zen hin. Die Mantelübergangszone zeigt eine ausgeprägte Verdünnung unterhalb des Puna-Plateaus.

Cyrrill Eckhardt, Wolfgang Rabbel (Kiel/Universität, Abt. Geophysik)

## Untersuchung seismischer Anisotropie mittels Receiver Functions im Bereich des Deutschen Regionalnetzes.

Email: ceckhardt@geophysik.uni-kiel.de

Das Deutsche Regional Netz (GRSN) weist seit rund 16 Jahren für die Hälfte der derzeit 25 Stationen eine kontinuierliche Datenaufzeichnung auf, für den Bereich  $mb \geq 5.5$ , Epizentraldistanz  $0^\circ - 100^\circ$ . Ein mittleres Signal/Rausch-Verhalten auf der von Z nach L (back azimuth) rotierten Komponente reicht von 4.5 bis 22. Die azimutale Bebenhäufigkeit ist für einen Großteil der Stationen (18 von 25) ausreichend gedeckt. Dies sind gute Voraussetzungen um seismische Anisotropie azimutal zu untersuchen.

Seismische Anisotropie ist durch verschiedene Studien für das GRSN belegt, vorwiegend SKS-Analysen. Welche Anteile von ihr dabei von Krusten (d: 30Km, Moho) und Mantel (d: 410Km, 660Km) Diskontinuitäten stammen, blieb undefiniert. Ziel unserer Studie ist es, durch die Polarisationsanalyse von receiver functions die Tiefenabhängigkeit der seismischen Anisotropie abzuschätzen. Die Bestimmung der Anisotropie ist eine Möglichkeit zur Feinstrukturauflösung und zeichnet sich unter anderem durch folgende Eigenschaften aus: 1. das Auftreten von Scherwellen-Splitting als solches, 2. Laufzeitunterschiede der gesplitteten S-Wellen Komponenten als Funktion der Ausbreitungsrichtung. Das Splitting weist bei azimutaler Beobachtung eine strukturabhängige Periodizität der Amplitudenstärke auf. Die Art der Periodizität wird durch die Lage der Symmetrieachse der in Vorzugsorientierung (vertikal, horizontal, geneigt) ausgerichteten Mineralkristalle oder Porositäten/Cracks definiert. Stark geneigte Symmetrieachsen können zusätzlich zu einer periodischen Umkehr des Amplitudenvorzeichens und/oder einer Änderung der Amplitudenperiodizität führen.

Die Beobachtungen der Krustenkonversionen an den Stationen des GRSN, zeigen für die SV-Komponente eine Variation in der Amplitudenbreite, sowie eine Periodizität in der Amplitudenstärke. Dies sind Hinweise auf eine Mächtigkeitsvariation der Übergangszone und vorhandener Anisotropie. Die SH-Komponenten zeigen ebenfalls Konversionsenergien. Ihre Amplitudenperiodizität ist wie ihre Polaritätsperiode für den Großteil der Stationen  $360^\circ$ . Andere Stationen zeigen kleinere, oft schwer oder nicht erkennbare Polaritätsperioden.

Um Anisotropie für die genannten Diskontinuitätsstockwerke anhand von Ps-Konversionen für etwa 2455 Beben aufzulösen, wurde die receiver function (rf) Methode in einem automatisierten Verfahren angewendet. Das Verfahren gliedert sich in 3 Hauptbereiche: 1. rf Berechnung mit beobachteten

und theoretischen Polarisationswinkeln, 2. rf Selektion auf der Basis von Signal/Noise-Bestimmungen, 3. rf Wichtung mit Hilfe der Polarisationsgüte. Die Reduktion des Datenvolumens durch die Qualitätskontrolle im Verfahren beträgt 50%-70%.

Nicolai Gestermann, Manfred Henger (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe), Jörg Schlittenhardt

## **Lektionen aus dem nordkoreanischen Kernwaffentest vom 9. Oktober 2006**

Email: [gestermann@sdac.hannover.bgr.de](mailto:gestermann@sdac.hannover.bgr.de)

Am 9. Oktober 2006 um 01:35:27 UTC führte Nordkorea in der Provinz Nord-Hamgyong einen Kernwaffentest durch. Der Test war etwa eine Woche zuvor von dessen Regierung ohne Nennung eines konkreten Datums und Ortes angekündigt worden. Eine Bestätigung über einen erfolgreich verlaufenden Test erfolgte unmittelbar nach dem Test. Es war der erste echte Belastungstest für das Internationale Überwachungssystem (IMS) der CTBTO (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization) in Wien. Das Ereignis wurde mittels eines automatischen Detektionsverfahrens entdeckt und relativ genau lokalisiert, wie spätere Vergleiche mit manuellen Auswertungen zeigten.

Auf Grund verschiedener Indizien wurde das Ereignis als vermutlicher Kernwaffentest eingestuft. Das Epizentrum lag in einem Gebiet, in dem Erdbeben bislang nicht beobachtet wurden und in der Nähe eines Stollens, der im Vorfeld als möglicher Testort bekannt war. Zudem deutete die Signalform des herdnächsten Arrays auf eine Explosionsquelle hin. Für die aus der gemessenen Magnitude ermittelte Ladungsstärke wurde ein Wert von 0,5 bis 2 Kilotonnen TNT bestimmt. Diese Werte wurden anhand von bereits früher für die Testgebiete der Kernwaffenstaaten abgeleiteten Beziehungen abgeschätzt.

Nicht zuletzt wegen der erfolgten Bestätigung des Kernwaffentests durch Nordkorea blieb die Identifizierung dieses Ereignisses als Explosion unkritisch. Die zuverlässige Verifikation auf der Basis der den nationalen Datenzentren (NDCs) zur Verfügung stehenden seismischen Messdaten des IMS erwies sich jedoch als unzureichend. Um dieser Aufgabe bei schwachen Ereignissen zukünftig gerecht zu werden, reichen die bisher vom IDC (International Data Center) eingesetzten Verfahren und Daten nicht aus. In dem nachfolgenden Vortrag von Jahnke et al. wird auf neue Verfahren der seismischen Diskrimination und die damit erzielten Ergebnisse eingegangen.



Muench, Thomas Willi (Uni Kassel, Institut für Geotechnik und Geohydraulik), Koch, Manfred, Schlittenhardt, Jörg

## Earthquake relocation in Germany allowing for Pn-anisotropy

Email: [tmuench@uni-kassel.de](mailto:tmuench@uni-kassel.de)

The anisotropic behaviour of seismic waves due to physical properties or structural features is well known since the 17th century, when Hooke introduced his formulas for elastic deformation. He recognized that for some materials, especially crystalline, the deformation and, as a consequence, the velocity of a seismic wave depends on the orientation of the material relative to the direction of the constraining force. The Earth's upper mantle consists mainly of Peridotit with about 40% to 90% Olivin ( $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ ), which is the major mineral component exhibiting strong anisotropic behaviour. As a consequence, anisotropic variations of Pn-travel-times are to be expected and have, indeed, been frequently found throughout many regions in the world as, for example, underneath Germany (cf. Song et al., 2001; 2004). As the use of Pn-phases is instrumental for precise earthquake relocation with regional seismic networks, namely, depth determination, the inclusion of Pn-anisotropy into the earth-velocity model should further improve the hypocentral determination. Using the results of previous anisotropic tomographic investigations underneath Germany by Münch et al. (2005) where a dataset of 1223 events with 22136 P-phases had been used to define the most relevant structural parameters of both 1D and 3D isotropic and anisotropic velocity-models (anisotropic upper mantle and a -yet- isotropic crust) we will investigate in the present contribution the possible improvements and limitations of such improved models on earthquake relocation, taking as two prominent examples the Waldkirch, December 5th, 2004, and the Rotenburg, October 20th, 2004, earthquakes.

The results of the inversion process show that for both 1D and 3D relocations the anisotropic cases lead to a consecutive improvement of the data-fit, which, in the absence of a ground-truth event, is the only objective measure of the quality of the hypocentre determination. In the 1D-case the RMS-improvement is about 70% when only P-Phases are used, but degrades to an improvement of only 10%, when both P- and S-Phases are incorporated in the relocation process. In the 3D-case the RMS-improvement amounts to only 10% when only P-Phases are used. Nevertheless, concerning the results for the hypocenter depths the anisotropic relocations are slightly better than the isotropic ones, as the depths converge more steadily to those obtained from the local studies done by LED, namely, a depth of 12km for the 3D-relocalisation of the Waldkirch

event. The results for the Rothenburg event are less clear because of its position at the border of the derived models, but still show the improvement of anisotropic correction.

Peter Bormann (GeoForschungsZentrum Potsdam) , Siegfried Wendt , Liu Ruifeng , Ren Xiao

## The new IASPEI standard magnitudes: Necessity, measurement regulations and first results of their application

Email: pb65@gmx.net

Significant systematic differences between different types of magnitude scales have been well established for decades already. More serious are, however, unacceptable differences between supposedly identical types of magnitude data, published with the same nomenclature in catalogues. The most striking example yielded the large tsunamigenic Sumatra earthquake of Dec. 26, 2004. Published mb values ranged between 5.7 and 7.4 and moment magnitude values between 8.2 and 9.3. Recently, it has also been shown by several authors (e.g., Granville et al., 2005; Bormann et al., 2007) that mb values calculated by different agencies (such as NEIC and CTBTO) differ systematically, depending on magnitude, up to more than one magnitude unit (m.u.). The reasons are discussed and illustrated in the talk. To overcome such unacceptable discrepancies, IASPEI entrusted in 2001 an international working group with the elaboration of standard procedures for the measurement of widely used magnitude types. In 2005, the IASPEI Commission of Seismological Observations and Interpretation accepted standard procedures proposed by the WG for computing the magnitudes ML, Ms, mb, mB, Mw and mb(Lg). These procedures are outlined. In the case of Ms, standards were accepted for measuring a band-limited Ms(20) from surface waves having periods between 18s and 22 s, and for measuring Ms(BB) from surface waves having periods in the range  $3s < T < 60s$ . mB is the broadband version of the band-limited short-period body-wave magnitude mb. It significantly reduces the spectral saturation effect. The new IASPEI standard procedures have already been applied at the China Earthquake Network Center (CENC) and for data of the German Regional Seismograph Network (GRSN). The results been compared with traditional Chinese measurements for mb and Ms and with seismic moment magnitudes Mw(HRV) of Harvard Seismology. Important conclusions are: - In the average, there is a nearly ideal agreement between Ms(20) and Ms(BB) for magnitudes larger 6.5 but for smaller earthquakes and measurements in the regional distance range Ms(20) tends to underestimate the magnitude since the dominating periods at the maximum Rayleigh-wave amplitude are then usually shorter than 18 s. - Standard mB equals standard Ms(BB) around 7 and Mw(HRV) around 7.3. mB is larger for smaller and smaller for larger Ms(BB) or Mw(HRV), respectively. However, in the average, this difference does never exceed 0.6 m.u. in the range  $4 < M < 9$ . - In contrast, standard mb equals

Ms(BB) and Mw(HRV) around 5.5 and underestimates these long-period magnitude data by about 1.5 to 2 m.u. for values around  $M = 9$ . - The average dominating periods of P waves in velocity proportional BB records vary between about 3s for mB between 4.3 and 4.9 and about 14 s for mB between 8.0 and 8.3. However, individual values up to 20 s have been observed too. These periods correspond to the corner periods of the source spectra for the dominating sub-rupture events. For given magnitudes they may differ from the average periods by a factor of 2 to 3 due to differences in stress drop. - The standard errors of Ms(20) and Ms(BB) event magnitudes are generally comparable. The average difference is only 0.01 m.u.. In contrast, the respective standard errors of mb event magnitudes are significantly larger (in average about 0.1 m.u.) than those for mB. They become, however, comparable for weak events with small signal-to-noise ratio.

Peter Bormann (GeoForschungsZentrum Potsdam), Joachim Saul, Siegfried Wendt

## Can the standard broadband body-wave magnitude $m_B$ substitute $M_{wp}$ , which is till now commonly used in tsunami early warning systems?

Email: pb65@gmx.net

Tsuboi et al. (1995; 1999) developed the moment magnitude  $M_{wp}$ , based on broadband P wave-forms. It scales well with  $M_w$ (HVR) for earthquakes in the magnitude range  $5 < M_w < 8.2$ , as is considered by these authors as a “simple and robust” technique “for a rapid evaluation of the tsunami potential of a large earthquake”. However,  $M_{wp}$  determination is not as simple, suffers from a number of difficulties. It depends on model assumptions about the source-time function and had to be upgraded during recent years by empirical, magnitude-dependent corrections, dependent on magnitude and apparent P-wave velocity, to obtain more reliable results. Despite these improvements, it has failed to reliably estimate  $M_w$  for some of the largest recent events, such as the  $M_w 9.3$  Sumatra December 26, 2004, tsunamigenic earthquake. For the latter the Pacific Tsunami Warning Center (PTWC) initially, some 15 min after rupture initiation, announced the value  $M_{wp} = 8.0$ , which was later revised to 8.2 with using a magnitude-dependent correction. About a year later, Kanjo et al. (2006) got for this event  $M_{wp} = 8.5$  by introducing a distance-dependent apparent P-wave velocity into the procedure, but still this was much too low. We propose as an alternative to use the classical broadband body-wave magnitude  $m_B$  based on the empirical Gutenberg-Richter(1956)calibration function for teleseismic P-waves and to follow the IASPEI 2005 recommendations for new standard procedures of  $m_B$  determination, i.e., measuring the maximum P-wave amplitude directly on unfiltered velocity broadband records. Depending on source distance and rupture duration,  $m_B$  values can be made available with a fully automatic procedure within 4 to 18 min after rupture initiation. A comprehensive listing, comparing  $M_{wp}$  data with Harvard moment magnitudes  $M_w$ , was published by Tsuboi et al. (1999). It comprises 178 earthquakes in the range  $5.3 < M_w < 8.2$ . For 109 of these events we found digital broadband records of the German Regional Seismograph Network (GRSN) in the teleseismic P-wave range and determined  $m_B$  interactively. The other earthquakes occurred with respect to the GRSN in the core-shadow (PKP) distance range. For tsunamigenic relevant moment magnitudes between 7 and 8 the average difference  $m_B(\text{GRSN})-M_{wp}$  was always  $< 0.2$  magnitude units (m.u.), and for individual events  $< 0.5$  m.u.. For smaller earthquakes,  $m_B$ , based on maximum ground motion velocity measurement, has systematically larger values than  $M_w$ , in the average up to  $+ 0.4$  m.u. for  $M_w$  between 5 and 6. However,

when correcting  $m_B$  with the mean difference between  $m_B$  and  $M_w$  according to Utsu (2002) then, in average,  $m_B(\text{GRSN})-M_{wp}$  is  $< 0.2$  m.u. in the whole range between  $5.4 < M_{wp} < 8$ . For 66 more recent earthquakes in the magnitude range  $5.9 < M_w(\text{HRV}) < 9.1$  we determined  $m_B$  with a fully automatic procedure and corrected it according to Utsu. The mean difference  $m_B(\text{corrected})-M_w(\text{HRV}) = - 0.01$  with a root-mean-square error of 0.38 m.u. in the considered magnitude range. This is a good agreement for near real-time alarm estimates of  $M_w$ . The large scatter is due to a few high stress-drop intraplate earthquakes with high seismic energy but low moment release, and four very slow earthquakes with large  $M_w$  but low energy release on the other hand. Taking out these rare extreme events the standard deviation from the near zero average is reduced to about 0.25 m.u. When calculating, for the strongest and generally multiple rupture events with  $M_w > 7.5$ , instead of single amplitude  $m_B$  the cumulative magnitude  $m_{Bc}$  (Bormann and Wylegally, 2005) these body-wave magnitude estimates can be further improved. Thus, combined and fully automatic estimates of  $m_B$  and  $m_{Bc}$  promise more stable and realistic near real-time estimates of big earthquakes than  $M_{wp}$ .

Peter Bormann (GeoForschungsZentrum Potsdam, Germany) , Joachim Saul

## **Determination of broadband body-wave magnitudes mB and mBc using an automatic near real-time procedure and comparison with interactive measurements and NEIC and Harvard Mw data**

Email: pb65@gmx.net

Bormann and Wylegally (2005) proposed the determination of cumulative broadband body-wave magnitudes mBc as a fast procedure for non-saturating magnitude estimates of big earthquakes. In 2006 they could show, based on interactive magnitude estimates by two experienced data analysts, that even for single amplitude mB the average difference  $mB - Mw(HRV) = 0.00$  with a root-mean-square error of 0.27 magnitude units (m.u.) in the range  $6 < Mw < 8$  ( $N = 46$  events). However, for  $Mw > 7.8$ , as for  $Mw(NEIC)$ , mB values become significantly smaller than  $Mw(HRV)$ , up to  $-0.8$  m.u., for  $Mw(HRV) = 9.0$  (Sumatra earthquake of Dec. 26, 2004). On the other hand, mBc for earthquakes with  $Mw > 7.8$  agrees very well with  $Mw(HRV)$ , including also the largest events that occurred recently. One of us (J.S.) has now developed an automatic real-time procedure of mB and mBc determination (as soon as the earthquake location is known). We have checked whether this procedure reproduces sufficiently well the measurements of an experienced seismogram analyst by comparing for the same events the respective data for the automatically and the interactively determined mB(mB(a) and mB(i), respectively), as well as the mBc values (mBc(d) and mBc(tot)). d stands for automatically determined rupture duration and tot for total rupture duration estimated by the analyst visually based on broadband data only. While we had interactively analyzed the records of only a few stations (one station for about half of the magnitude data, up to a maximum of 7 stations per event magnitude), the automatic procedure permitted to quickly calculate mB and mBc from the digital data of 24 up to 207 worldwide distributed stations. This allows to assess the robustness of these magnitude estimates if only a very limited number of station records are available for real time processing. We got the following mean differences (with root-mean-square errors RMS in brackets): - mB(a)- mB(i) = - 0.03 m.u. (RMS 0.13 m.u.) (for identical stations); - mBc(d) – mBc(tot) = - 0.04 m.u. (RMS 0.20 m.u.) (for identical stations); - mB(i)(single station) – mB(a)(global network) = - 0.02 m.u. (RMS 0.24 m.u.); - mB(i)(2-7 stations) – mB(a)(global network) = + 0.06 m.u. (RMS 0.10 m.u.); - mBc(d)(single station)– mBc(d)(global network) = + 0.07 m.u. (RMS 0.23 m.u.); - mBc(d)(2-7 stations) – mBc(d)(global network) = + 0.02 m.u. (RMS 0.14 m.u.). Since the mean differences between interactive measurements and automatic ones

are  $< 0.1$  m.u., with standard deviations generally  $< 0.25$  m.u., we can trust that the developed automatic real-time procedure for the new IASPEI standard magnitude mB, as well as for the cumulative mBc, reproduces very well the readings of an experienced seismogram analyst, however being at the same time more objective and fully reproducible. We also proved the robustness and reliability of broadband body-wave estimates, which yield with the readings of only a few stations results that are comparable to those of a large global network. This finding is highly relevant for near real-time magnitude estimations in disaster situations when many nearby stations may fail. Finally, we present the diagrams comparing automatically calculated mB and mBc values for global network data with  $Mw(HRV)$  in the range 6.0 to 9.0. The data scatter will be explained in terms of differences in seismic energy and moment release depending on regional stress-drop conditions and prevailing source mechanisms.

Nina Köhler (Universität Karlsruhe, Geophysikalisches Institut) , Friedemann Wenzel , Maren Böse

## **PreSEIS – eine Methodik zur Erdbebenfrühwarnung im Rahmen des SAFER-Projekts**

Email: [nina.koehler@gpi.uni-karlsruhe.de](mailto:nina.koehler@gpi.uni-karlsruhe.de)

Viele europäische Länder, v.a. im Gebiet des Mittelmeerraumes, sind durch Erdbeben erheblich gefährdet. Zusätzlich zu Schäden an Leben und Gesundheit erzeugen Erdbeben in dicht besiedelten Regionen auch große materielle und ökologische Schäden. Erdbebenfrühwarnung zielt darauf ab, im Falle eines Erdbebens Informationen in Echtzeit zu liefern, aus denen Warnungen und andere schadensbegrenzende Maßnahmen abgeleitet werden können. Obwohl die Vorwarnzeiten nur im Bereich zwischen wenigen Sekunden und mehreren zehn Sekunden liegen, können sie ausreichend sein, um z.B. das automatische Herunterfahren von industriellen Anlagen, das Schließen von Gasleitungen oder das Abbremsen von Hochgeschwindigkeitszügen zu veranlassen.

Das EU-Projekt SAFER (Seismic eArly warning For Europe) zielt darauf ab, die Möglichkeiten der effektiven Echtzeit-Frühwarnung für gefährdete europäische Regionen auszuschöpfen und möglichst benutzerfreundliche und regional übertragbare Systemkomponenten zu entwickeln.

Erdbebenfrühwarnung beruht auf der Eigenschaft seismischer Wellen, dass die zerstörerische Starkbebenphase, bestehend aus S- oder Oberflächenwellen, sich nur etwa mit der halben Geschwindigkeit von der P-Phase ausbreitet. Es ist somit notwendig, Parameter wie die Magnitude und die Lokation des Bebens aus den ersten paar Sekunden der aufgezeichneten P-Welle zuverlässig abzuschätzen, um die verbleibenden Sekunden bis zum Eintreffen der Starkbebenphase gegebenenfalls für eine Warnung nutzen zu können.

PreSEIS (Pre-SEISmic shaking) ist eine Methodik zur Erdbebenfrühwarnung, die auf der Verwendung von künstlichen Neuronalen Netzen basiert (Böse, 2006). Das System wurde für Istanbul entwickelt und baut auf dem dort bereits vorhandenen Warnsystem IERREWS (Istanbul Earthquake Rapid Response and Early Warning System) auf, für das zehn Frühwarnstationen in der Marmara-Region installiert wurden. PreSEIS kombiniert die Vorteile von regionaler Frühwarnung, die auf einem Netzwerk von Stationen beruht, mit der Warnung mittels einzelner Stationen (on-site Frühwarnung), die sich durch große Schnelligkeit auszeichnet. Es arbeitet somit schnell bei gleichzeitig erhöhter Stabilität durch eine größere Anzahl von Stationen. Zusätzlich wird auch die Information über nicht-ausgelöste Stationen beim Auswerten mit einbezogen. Die ersten Abschätzungen der Magnitude und Lokation sind bereits 0.5 Sekunden nach dem Auslösen der ersten Station erhältlich und werden kontinuierlich aktuali-

siert. Da das System bislang hauptsächlich auf synthetischen Daten beruhte, wird es im Rahmen von SAFER mit realen Daten getestet und erweitert, und die Ergebnisse mit denen von anderen Frühwarnsystemen verglichen. Wir präsentieren die Methodik und zeigen erste vorläufige Ergebnisse.

Jürgen Mackedanz (Bensberg, Universität zu Köln), Klaus-G. Hinzen

## **Ein probabilistisches seismisches Gefährdungsmodell für die Niederrheinische Bucht und Umgebung**

Email: [jm@erdbebenstation.de](mailto:jm@erdbebenstation.de)

Die Niederrheinische Bucht gehört zu den seismisch aktivsten Gebieten in Mitteleuropa. Sie schließt mit Köln die einzige seismische gefährdete Millionenstadt ein und ist in weiten Teilen dicht besiedelt und hoch industrialisiert. Für eine realistische seismische Gefährdungsabschätzung ist die statistische Eintrittswahrscheinlichkeit standortspezifischer Spektralbeschleunigungen von großem Interesse. Zu deren Berechnung wurde ein probabilistisches seismisches Gefährdungsmodell für die Niederrheinische Bucht und deren Umgebung entwickelt. Vorgestellt wird das Modell, das im Zentralteil einzelne Verwerfungen als Quellen verwendet, das für die Berechnung entwickelte Programmpaket sowie die Eingangsparameter. Ergebnisse der Berechnungen werden in Form von Gefährdungskarten dargestellt, die für ausgesuchte Eintrittswahrscheinlichkeiten die spektralen Beschleunigungsantworten bei bauwerksrelevanten Frequenzen zeigen.

Klaus-G. Hinzen (Universität zu Köln) , Claus Fleischer , Thomas Rheinsch

## **Ein neues strong motion Netz in der Niederrheinischen Bucht, SeFoNiB**

Email: hinzen@uni-koeln.de

Im Frühjahr 2006 wurde mit der Implementierung eines strong motion Netzes in der Niederrheinischen Bucht (NiB) begonnen, inzwischen sind die 19 Stationen in Betrieb. Mit diesem neuen Netz steht ein Werkzeug zur Verfügung, das bei spürbaren Beben in der NiB Seismogramme liefert, die es gestatten die Wellenausbreitungsverhältnisse und Standorteffekte besser kennen zu lernen als es bisher der Fall war. Da aus dieser Region kaum Registrierungen von Beben mit Magnituden über 4 aus Entfernungen unter 20 km vorliegen, ist es wichtig im Hinblick auf Gefährdungsanalysen, bei zukünftigen Beben solche Daten zu gewinnen, um die Unsicherheiten bei der Verwendung von Bodenbewegungsmodellen zu verringern.

Die meisten der Stationen sind als reine Freifeldstationen aufgebaut, nur bei wenigen wurde aus logistischen Gründen auf kleinere Bauwerke zurückgegriffen. Die Stationen sind mit EPI-Sensoren (Kinometrics), 24 Bit AD Wandlern (Symres) und einem PC-basierten Erfassungssystem ausgerüstet. Die Maximalamplitude ist auf eine Beschleunigung von 1 g ausgelegt, die Abtastung erfolgt mit 250 Samples/s.

Die Stationslokationen wurden so gewählt, dass die unterschiedlichen Sedimentverhältnisse im Bereich der NiB abgedeckt sind und der Entfernungsbereich von kleiner 10 km bis ca. 80 km bei Beben an den Hauptverwerfungen abgedeckt werden.

Vor der Installation erfolgte eine dynamische und statische Kalibrierung der Stationen. Die ersten Messungen zeigen, dass auch bei Beben kleiner als die Zielmagnitude von 3.0 brauchbare Seismogramme gemessen werden. Auch die P-Phasen von teleseismischen Ereignissen werden erfaßt und zeigen einen standortabhängigen Einfluß auf die Wellenform.

Zur ingenieurseismologischen Beschreibung der Standorte werden zur Zeit die oberflächennahen Schichten hinsichtlich ihrer dynamischen Eigenschaften erkundet. Kombinierte Refraktionsmessungen und die Dispersionsanalyse von Oberflächenwellen wird zur Ermittlung der Scherwellengeschwindigkeiten ( $V_{s30}$ ) eingesetzt.

Ludger Küperkoch (Ruhr-Universität Bochum, Institut für Geophysik) , Andrea Brüstle , Thomas Meier , Wolfgang Friederich

## **Automatische Ereignisidentifikation mit Hilfe Statistiken höherer Ordnung**

Email: ludger.kueperkoch@rub.de

Der stetig wachsende Strom von digitalen seismologischen Daten aus permanent und temporär betriebenen Netzwerken macht den Einsatz automatischer Methoden zur Ereignisidentifikation und -diskriminierung unumgänglich. Weit verbreitet ist der Einsatz des STA-/LTA-(*short term average/long term average*) Triggers, der die sogenannte *charakteristische Funktion* (CF) generiert, auf die der Detektor angewendet wird. In großen seismologischen Netzwerken wie dem EGELADOS-Netzwerk müssen die einzelnen Detektionen aus dem nahezu kontinuierlichen Strom von Triggerungen in einem weiteren Datenverarbeitungsschritt zu seismischen Ereignissen assoziiert werden, um Fehldetektionen weitestgehend zu eliminieren.

Zur Berechnung der CF werden i.a. Mittelwert oder Standardabweichung (1. und 2. zentrales statistische Moment) benutzt, jedoch bieten sich auch die *Schiefe* und *Kurtosis* (3. und 4. zentrales statistisches Moment) zur Berechnung der CF an.

In dieser Studie werden in einem Vergleich die Vor- und Nachteile der einzelnen zentralen Momente bei der Anwendung sowohl zur Signalidentifikation als auch zum Phasenanreißern aufgeführt. Dazu werden kontinuierliche Daten aus dem EGELADOS-Netzwerk herangezogen und die automatischen Triggerungen und identifizierten Phasen mit manuell bestimmten Ereignissen und Ersteinsätzen verglichen.

Diese quantitative Untersuchung bildet die Grundlage für die weitere automatische Ereigniserfassung und -diskriminierung im EGELADOS-Netzwerk und dem möglichen Einsatz in einem Erdbebenfrühwarnsystem.



Jörn Groos (Geophysikalisches Institut, Universität Karlsruhe) , Joachim Ritter

## Parametrisierung im Zeitbereich des breitbandigen seismischen Rauschens im Großraum Bukarest

Email: joern.groos@gpi.uni-karlsruhe.de

Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 461 "Starkbeben: Von geowissenschaftlichen Grundlagen zu Ingenieurmaßnahmen" wurde von Oktober 2003 bis August 2004 in der rumänischen Hauptstadt Bukarest mit 31 breitbandigen Seismometern des Karlsruher BreitBand Arrays KABBA das URban Seismology Projekt (URS) durchgeführt. Hauptziel des Projekts ist die Erkundung der Untergrundbeschaffenheit im Großraum Bukarest als wichtige Grundlage für alle Ingenieurmaßnahmen zum Schutz von Einwohnern und städtischer Infrastruktur. Dieser Datensatz erlaubt die Untersuchung des urbanen seismischen Rauschens im Frequenzbereich von 8 mHz bis 45 Hz in Abhängigkeit von Zeit und Ort.

Mit diesem Poster soll ein automatisches Verfahren zur Parametrisierung von Zeitreihen des seismischen Rauschens im Zeitbereich vorgestellt werden. Dazu wurden aus den Daten des URS-Projekts 3-4 Stunden lange Zeitreihen des seismischen Rauschens zu verschiedenen Tageszeiten ausgeschnitten und Rauschamplituden im Frequenz- und Zeitbereich bestimmt. Die Bestimmung der Rauschamplitude im Zeitbereich erfolgt über die Angabe der 95.45-Perzentile, d.h. der Doppelamplitude innerhalb deren Wertebereich 95.45 Prozent der Zeitreihen-Werte liegen, und einer Klassifizierung der untersuchten Zeitreihe. Dem Verfahren liegt zu Grunde, dass sich das seismische Rauschen als Überlagerung von Signalen vieler unterschiedlicher Quellen einem normalverteilten Zufallsprozess annähert (Zentraler Grenzwertsatz). Für die Klassifizierung sind Ausmaß und Charakter der Abweichungen von der Normalverteilung von Bedeutung. Besteht die Zeitreihe einen Chi-Quadrat-Anpassungstest auf Normalverteilung, wird der Zeitreihe die Rauschklasse 1 zugeordnet. Die Rauschklassen 2 und 3 werden Zeitreihen zugewiesen, deren Häufigkeitsverteilungen aufgrund kurzer transienter Ereignisse (Peaks) mit zunehmenden Maß eine Wölbung gegenüber der Normalverteilung in Form eines positiven Exzesses aufweisen. Die Rauschklasse 4 umfasst Zeitreihen, deren Häufigkeitsverteilungen, z.B. aufgrund dominierender periodischer Signalanteile, stark von der Normalverteilung abweichen und in der Regel keine Glockenform mehr aufweisen.

Das vorgestellte Verfahren ermöglicht die Bestimmung untereinander vergleichbarer Rauschamplituden im Zeitbereich an verschiedenen Orten und zu unterschiedlichen Zeiten und macht Aussagen über die eventuell vorliegende Dominanz einzelner oder

weniger Quellen sowie deren Charakter.

Elena Aldushina (Ruhr-Universität Bochum, Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik) , Wolfgang Friederich , Bernhard Stöckhert , Katja Essen , Mandy Braatz , Lars Ceranna

## Entwicklung eines petrologischen Modells der Hellenischen Subduktionszone und Berechnung der seismischen Geschwindigkeiten

Email: aldushina@geophysik.ruhr-uni-bochum.de

Um die Verteilung der physikalischen Eigenschaften in der Hellenischen Subduktionszone besser verstehen zu können, wurde in den vergangenen Jahren eine Vielzahl von sowohl petrologischen als auch geophysikalischen Modellen entwickelt (Sobolev et al., 1997). Für die Interpretation von Messergebnissen ist es sehr wichtig beide Modelle zu verknüpfen, so dass physikalischen Eigenschaften, tektonische Prozesse und auch Mineraleigenschaften berücksichtigt werden können.

Zur Erstellung eines einheitlichen Modells haben wir ausgehend von einem tektonischen 2D-Modell und petrologischen Phasendiagrammen den einzelnen tektonischen Einheiten bestimmte Mineralparagenesen zugeordnet. Basierend auf Druck- und Temperaturkurven kann die Verteilung der physikalischen Eigenschaften in diesen Bereichen aus thermodynamischen Daten berechnet werden (Stixrude & Lithgow-Bertelloni, 2005).

Die Wellenausbreitung in diesem neuerstellten 2D-Modell der Hellenischen Subduktionszone wird mit einer Chebyshev Pseudospektralmethode (Ceranna, 2002) berechnet. Insbesondere interessieren wir uns für den Einfluss eines Subduktionskanals auf die Wellenausbreitung. Durch den Vergleich von synthetischen Seismogrammen und Messdaten soll untersucht werden, ob ein solcher Subduktionskanal in der Hellenischen Subduktionszone existiert.

### Literatur

Sobolev, S. & Zeyen, H., & Granet, M. & Achauer, U. & Bauer, C. & Werling, F. & Altherr, R. & Fuchs, K., 1997. Upper mantle temperatures and lithosphere-asthenosphere system beneath the French Massif Central constrained by seismic, gravity, petrologic and thermal observations, *Tectonophysics*, **275**, 143–164.

Stixrude, L. & Lithgow-Bertelloni, C., 2005. Thermodynamics of mantle minerals - I. Physical properties, *Geophys. J. Int.*, **162**, 610–632.

Ceranna, L., 2002. Modellierung seismischer Wellenfelder in lateral heterogenen Mantelmodellen mit Hilfe der Chebyshev Pseudospektralmethode, *Dissertation, Ruhr-Universität Bochum*.

Marco Walter (Institut für Geophysik / Universität Stuttgart) , Manfred Joswig

## **Geophysikalische Untersuchungen von Großhangbewegungen: Beispiel Heumöser Hang, Vorarlberg**

Email: [Marco.Walter@geophys.uni-stuttgart.de](mailto:Marco.Walter@geophys.uni-stuttgart.de)

Als eines von insgesamt fünf Teilprojekten der interdisziplinären DFG-Forschergruppe 581 'Kopplung von Strömungs- und Deformationsprozessen zur Modellierung von Großhangbewegungen' wird an unserem Institut versucht, die durch Hangbewegungen induzierten Bruchprozesse mit Hilfe von Kleinarrays zu detektieren und zu lokalisieren. In einer ersten Studie konnten Mikrobeben mit Magnituden von  $M_L = -0,7$  bis  $M_L = -2,2$  detektiert, lokalisiert und der Rutschung zugeordnet werden. Dabei korreliert die räumliche Verteilung der Epizentren mit Hangabschnitten unterschiedlicher Bewegungsrate. Zusätzlich scheint das häufigere Auftreten der Mikrobeben bei Niederschlägen die Vermutung zu bestätigen, dass Regenereignisse die Rutschung des Hanges begünstigen bzw. auslösen.

Geologisch ist der Rutschungskörper des Heumöser Hanges aus glazialem, bindigem Geschiebelehm aufgebaut. Da dieses Material kein Sprödbuchverhalten zeigen kann, stellt sich die Frage, welche Mechanismen in einem duktilen Material Impulse hinreichender Energie freisetzen könnten. Aus diesem Grund liegt ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten in der Untersuchung möglicher Herdmechanismen durch weiterführende Feldexperimente sowie in der Bestimmung relevanter Einflussfaktoren. Da die Dimension des sich bewegenden Körpers derzeit noch unklar ist, soll eine refraktionsseismische Vermessung der Rutschungsmasse erfolgen. Dabei werden entlang ausgewählter Profile seismische Sprengungen durchgeführt, um die Grenzschicht des Hanges zum anstehenden Festgestein zu determinieren.

Die aus unseren Arbeiten gewonnenen Erkenntnisse werden mit Ergebnissen der Untersuchungen anderer Teilprojekte der Forschergruppe verifiziert und in die hydraulischen, hydrologischen und mechanischen Modellierungen der Bewegung des Heumöser Hanges einfließen, um eine umfassende Prozessaufklärung der Hangbewegung zu ermöglichen.

Lisa Rehor (GPI, Karlsruhe) , Thomas Forbriger

## **Bestimmung einer Gebäudeantwort aus seismischen Breitbandregistrierungen**

Email: L.Rehor@gmx.de

Während des Urban Seismology-Projektes (URS) im Rahmen des SFB 461 "Starkbeben" waren über einen Zeitraum von drei Monaten zwei Seismometer des Karlsruher Breitband-Arrays (Kabba) innerhalb eines Hochhauses in Bukarest installiert. Anhand der dabei aufgezeichneten Daten wurde untersucht, ob die Methode von Snieder & Şafak (2006) zur Bestimmung der Gebäudeantwort auf diese Daten übertragbar ist. Die erhaltenen Ergebnisse können zum Teil mit den Theorien von Snieder & Şafak erklärt werden. Akausale Anteile der berechneten Gebäudeantwort könnten ein Hinweis darauf sein, dass das Gebäude auch an der Oberkante (z.B. durch Wind) zu Schwingungen angeregt wird.

Die Impulsantwort wird durch Dekonvolution von Seismogrammen berechnet. Die Signale, die in verschiedenen Stockwerken aufgezeichnet wurden, werden dabei auf die im obersten Stock bzw. im Keller registrierten Seismogramme bezogen. Die Kopplung des Gebäudes an den Untergrund und das Quellsignal werden dadurch eliminiert. Mit dieser Methode kann folglich die Impulsantwort, die nur von den Eigenschaften des Gebäudes abhängt, bestimmt werden.

### **Literatur**

Snieder R. & Şafak E., 2006. Extracting the building response using seismic interferometry: Theory and application to the Millikan Library in Pasadena, California. Bull. Seism. Soc. Am., 96(2): 586-598.

Thomas Plenefisch (SZGRF Erlangen) , Marcus Walther

## **Tracking SKS shear-wave splitting across Central and Eastern Europe by using permanent networks and one single event**

Email: plene@szgrf.bgr.de

During the last decades a lot of SKS studies have been performed to detect and analyse seismic anisotropy in the upper mantle. Most of these investigations are based on temporary experiments. Usually these experiments cover regions of several hundred of kilometers with the scope to investigate one or two tectonic provinces or their transition zone respectively. Due to temporary limitations - usually 6 to 18 months - the experiments offer the possibility to record some events with reasonable SKS signal-to-noise ratio and under favourable circumstances one or two events with SKS showing high transversal SKS energy clearly above noise level.

Here we propose another approach. Since the number of permanent stations has increased rapidly over Europe during the last years, we combine SKS records from several countries and institutions to investigate a broader region than those covered by temporary experiments. The second advantage of this philosophy comes from the long registration periods of the permanent stations, which allows to select SKS events with particular energetic SKS amplitudes.

For a start we concentrate on records of one single event, namely the MW = 6.8 event of 13 November 2006 from the Santiago del Estero province (Argentina), a source region for which energetic SKS amplitudes have often been observed on European stations. For this event we collected data from permanent stations in Central and Eastern Europe (e.g. GEOFON (data from Poland, Czechia, Hungary, Russia etc.), GRSN (Germany), SED (Switzerland)) and we prepared seismogram sections in a narrow azimuth range. The sections cover the epicentral distance range between 93° to 115°, e.g. from station GIMEL (Switzerland) in the southwest to station PUL (Russia) in the northwest of Europe. The SKS phase can be clearly correlated on the sections, most of the records show considerable SKS splitting. Since up to now, we have analysed only one single event, the resulting splitting parameters have still to be regarded as apparent splitting values. Nevertheless, the lateral variations of the splitting parameters over Central and Eastern Europe can be interpreted with respect to the major tectonic units (Alps, Variscan Orogen, East European Platform).

Thomas Plenefisch (SZGRF Erlangen) , Klaus Klinge

## **Spatiotemporal changes of the stress field in the Sunda Arc subduction zone after the 26 December 2004 Northern Sumatra earthquake inferred from inversions of earthquake focal mechanisms**

Email: plene@szgrf.bgr.de

The Sunda Arc is one of the worlds major subduction zones. It stretches over a length of more than 5000 km from the Arakan collision in the northwest to the Banda arc in the east. The disastrous magnitude 9 Northern Sumatra event of 26 December 2004 took place at the NW tip of Sumatra, where the rupture started and propagated over a length of more than 1000 km to the north embracing also the Andaman and Nicobar Islands.

In our study we use earthquake focal mechanisms to investigate the stress field in the particular region of NW-Sumatra, Andaman and Nicobar Islands. The final scope of our investigations is to resolve a three dimensional image of the stress field as well as possible temporal changes of the stresses due to the mega event.

For the calculation of the stress field we use moment tensor solutions of the Harvard moment tensor catalogue and apply the inversion method by Gephart & Forsyth (1984). The first dataset comprises 244 moment tensors from the time period before the mega event (1977 to 26-Dec-2004). The second dataset consists of the moment tensor of the 26 December 2004 mainshock and 701 aftershock moment tensors from the time period 26-Dec-2004 to 20-Apr-2006 covering magnitudes between  $M_W = 5.0$  to 8.9.

Up to now, the following results can be inferred from the inversions:

1. The region of NW Sumatra, the Andaman and Nicobar Islands shows a N-S to NNE-SSW orientation of the S1-axis, which is in agreement with the NNE directed subduction of the Indian plate underneath the Burma microplate. Thereby, the stress field is predominantly influenced by the direction of the plate motion, the geometry of the subduction zone seems to have minor influence on the stress field.

2. When comparing the inversion results from the earlier period of the aftershock sequence to the later one, a counterclockwise rotation of about  $30^\circ$  of the azimuth of S1-axis from NNE-SSW to N-S can be observed. If this is merely a temporal change in the stress field or also an effect of the southward migration of the aftershocks in the second period has still to be proved.

Thomas Forbriger (BFO, Schiltach and GPI, Karlsruhe)

## Low-frequency limit for H/V studies due to tilt

Email: [Thomas.Forbriger@gpi.uni-karlsruhe.de](mailto:Thomas.Forbriger@gpi.uni-karlsruhe.de)

Throughout the data recorded during the Urban Seismology Project (URS) in Bucharest city, we observe a low-frequency peak in H/V spectral ratios near 0.2 Hz. This is believed to be related to the seismic discontinuity between the Cretaceous and the Neogene. We also observe a strong increase of the H/V ratio with decreasing frequency below 0.2 Hz. This increase is likely to mask the peak in some parts of the data. I show that this increase can be explained by tilt due to local surface loads (e.g. passing cars) at a distance of 50 m or less.

H/V spectral ratios appear to be a convenient tool to study subsurface properties. The method uses ambient noise and is thus independent of active sources or earthquakes. It requires a single three component seismometer only. However, it suffers from the unknown composition of the wavefield. Usually the H/V ratio is believed to be dominated by the ellipticity of the fundamental mode of Rayleigh waves. Although, other ground motion and wave types or overtones can contribute as well.

At low frequencies acceleration due to tilting of the instrument can become significant. This type of acceleration usually is apparent in horizontal components only and increases strongly in amplitude relative to the vertical component's signal with increasing signal period. I present theoretical considerations for this effect for point loads on the surface and Rayleigh waves. A comparison with the analysis of the URS records suggests, that the effect of tilt due to local point loads is apparent in the data.

Frank Krüger (Institut für Geowissenschaften, Univ. Potsdam) , Wolfram Geissler , Rainer Kind

## **PASSEQ 2006-2008 Passive Seismic Experiment in TESZ**

Email: [kruegerf@geo.uni-potsdam.de](mailto:kruegerf@geo.uni-potsdam.de)

The Tornquist-Teisseyre Zone (TTZ) as part of the Transeuropean Suture Zone is one of the most prominent suture zones in Europe separating the young Palaeozoic platform from the much older Precambrian East European Craton. The knowledge of deep structure of the TESZ is very important for understanding the tectonic processes in Europe. The TTZ is visible as a major change of the crustal/lithospheric structure in seismic, magnetic and gravity fields. The PASSEQ seismic experiment target many questions that remain about the geodynamical evolution of central Europe. The main goal of PASSEQ is the detailed investigation of this sharp contact zone between lithospheres of very different thickness and age down to the mantle transition zone, including mapping of upper mantle seismic velocity variations and discontinuities (Moho, lithosphere-asthenosphere boundary, mantle transition zone) using travel-time tomography, SKS, surface wave and receiver function studies. The TTZ is an ideal place to study the physical and compositional properties of adjacent contrasting lithospheres and the interaction of mantle flow and lithosphere topography in detail. Therefore, more than 150 temporary broadband and short-period seismic stations from various institutions in Europe and the USA are installed along a 1100 km long and approximately 300 km wide array spanning from Bavaria/Germany in the southwest to Lithuania in the northeast for the time period 2006 to 2008. We present the experiment and first data examples.



Klaus Klinge (BGR / SZGRF) , Klaus Stammler , Thomas Plenefisch , Gernot Hartmann

## **Fortschritte bei der Auswertung von Erdbeben in Deutschland seit Einführung des GRSN vor 15 Jahren**

Email: [klinge@szgrf.bgr.de](mailto:klinge@szgrf.bgr.de)

Die BGR und das SZGRF haben die Aufgabe, lokale, regionale und globale seismische Aufzeichnungen kontinuierlich zu analysieren, zu interpretieren und die Ergebnisse nationalen und internationalen Einrichtungen (NEIC, ISC, EMSC) zur Verfügung zu stellen. Für Deutschland und angrenzende Regionen wird mit einer Zeitverzögerung von 1 bis 2 Monaten ein monatliches Bulletin mit seismischen Ereignissen  $M_I \geq 2.0$  erstellt, das die Grundlage für den späteren Jahreskatalog bildet. Im Laufe der letzten 15 Jahre verbesserten sich Qualität (Herdparameter) und Quantität (Vollständigkeit) der bearbeiteten Ereignisse. Diese Verbesserungen waren nur möglich durch die stetig gewachsene Anzahl von online bzw. zeitnah zur Verfügung stehenden kontinuierlichen Daten in- und ausländischer Stationen. Dazu gehören in Deutschland die Stationen des GRSN, des GRF-Arrays, die regionalen GEOFON-Stationen und weitere lokale deutsche Stationen von Geologischen Landesämtern und Universitäten. Aus den benachbarten Ländern stehen Breitbanddaten aus Österreich, Tschechien, Polen, Dänemark, den Niederlanden und der Schweiz zur Verfügung. Bei Beben im unmittelbaren Bereich von lokalen Stationsnetzen mit großer Stationsdichte erreichten die Lokalisierungen mit den lokalen Netzen die höchste Genauigkeit. In allen anderen Gebieten waren die im Datenbestand von BGR/SZGRF verfügbaren Stationen die Grundlage der bestmöglichen Herdparameterbestimmungen. Neben den technischen Fortschritten wird ein Überblick über das Erdbebengeschehen in Deutschland seit Regiestierbeginn des GRSN vor fast genau 15 Jahren gegeben.

Michael Wagner (Geophysikalisches Institut, Universität Karlsruhe (TH)) , Joachim Ritter

## **Herdmechanismen der Erdbeben vom 10.2. und 26.3.2005 im Oberrheingraben**

Email: michael.wagner@gpi.uni-karlsruhe.de

Untersucht wurden zwei Erdbeben, die sich im ersten Quartal 2005 im Bereich des mittleren Oberrheingrabens ereigneten. Das erste Beben am 10. Februar 2005 ereignete sich im Graben bei Speyer (ML=2.8) und weist einen Abschiebungs-Charakter auf. Das zweite Beben am 26. März 2005 fand auf der östlichen Grabenschulter südlich von Heidelberg statt (ML=2.4) und war eine Aufschiebung. Diesem Beben folgte ein Nachbeben am 27. März 2005. Die beiden Beben bei Heidelberg hatten einen relativ flachen Herd von weniger als 3 km Tiefe. Das Beben bei Speyer fand in einer etwas größeren Tiefe in der Kruste statt.

Zur Untersuchung lagen Daten der Stationen der Landesämter von Hessen (HED), Rheinland-Pfalz (LER) und Baden Württemberg (LED) sowie des Deutschen Regionalnetzes (GRSN) vor. In dieser Zeit registrierten auch die Stationen des KARlsruher BreitBand Arrays (KABBA) im Rahmen des TIMO (Tiefenstruktur des mittleren Oberrheingrabens) Projektes, was eine gute Stationsüberdeckung ergab. Wegen den vielen Stationen und der geringen Entfernung einiger Registrierungen zu den Beben, war eine relativ genaue Bestimmung der Herdzeit, der Koordinaten und der Magnitude sowie der zugrunde liegenden Herdmechanismen möglich.

D. Lange (University Hamburg) , A. Rietbrock , C. Haberland , T. Dahm , K. Bataille , TIPTEQ Research Group

## **Seismicity, focal mechanisms, and the state of stress of the Chilean subduction Zone at 42°S**

Email: [dietrich.lange@zmaw.de](mailto:dietrich.lange@zmaw.de)

The convergent margin from Southern Chile is the focus of studies within the largescale, multi-discipline experiment TIPTEQ (From The Incoming Plate to megaThrust EarthQuake Processes). A temporary, amphibious seismic network was deployed on the island of Chiloé, the corresponding continental region around Chaitén and the offshore forearc between 41.5°S and 43.5°S. Our studies focus spatially on the central zone of the Mw=9.5 1960 Chile earthquake.

Focal mechanisms have been determined from P wave first motion polarities from small to moderate size ( $1.5 \leq M \leq 5.1$ ) earthquakes that occurred within the forearc of the southern Chilean subduction zone from November 2004 until October 2005. Additionally, we inverted moment tensors using an amplitude-spectra time-trace inversion.

The seismicity is found in the downgoing plate (both at the trench and down to 100 km depth), within the crust beneath the volcanic arc, and at the interface between upper and lower plate. The strongest events in the Benioff zone (down to 55 km depth) show mainly N-S striking thrust type mechanisms thus allocating them in the coupling or seismogenic zone between the two plates. The average compressional stress (P axis) direction for the strongest events is approximately perpendicular to the trench. The present angle of obliquity of the Nazca-South America plate convergence vector with respect to the orthogonal to the trench is approximately 26°S thus suggesting stress partitioning at this latitude. Crustal events suggest that part of the trench-parallel stress component is accommodated by the Liquiñe-Ofqui strike slip fault zone located within the volcanic arc at 42°S.

The focal mechanisms will be jointly interpreted with the findings of surface geological studies and moment tensors from teleseismic measurements. The analysis of the stress field will contribute to the structure and dynamics of the forearc, of the oceanic plate (fracture zones, wedge) and of the coupling zone.

Ingo Wölbern (Joh. Wolfgang Goethe-Universität), Arthur Batte, Michael Lindenfeld, Andrej Jakovlev, Ezra Twesigomwe, Georg Rumpker, Rainer Kind

## Rift-related uplift of the Rwenzori mountains in Uganda investigated by seismological methods

Email: woelbern@geophysik.uni-frankfurt.de

The passive source seismological project within the **RiftLink** research group aims to constrain the development and uplift of the Rwenzori mountain range and its relation to the formation of the western branch of the East-African rift system. Local and teleseismic earthquake recordings are used to image structures of the crust and upper mantle within the region.

A temporary network consisting of 23 mobile broadband and short-period seismic sensors has been deployed starting in April 2006 and will remain in the field until the end of 2007. Stations are located mainly along two profiles in the westernmost part of Uganda near the Congo border. One profile is situated within the rift along the eastern flank of the Rwenzori mountains, approximately between 0.2°S and 0.9°N. The second profile is located nearly perpendicular to the rift, spanning the transition from the rift shoulder into the rift valley and further crossing the northern part of the Rwenzori. Additional seismic stations have been placed on the rift shoulder in the South-East and the North-West.

A number of seismological methods are used to study crustal and upper-mantle structure. The localisation of sources and fault-plane solutions provide information on active fault zones and on current tectonic movements. Depth distribution of local events provides further constraints on the transition from brittle to ductile crust. The studies may also improve information on seismic hazards and risk assessment.

Local and teleseismic tomography are applied to determine the 3D velocity structure in the area under investigation and to detect velocity anomalies in the crust and the upper mantle down to approximately 300 km depth. Seismic discontinuities down to the mantle transition zone can be derived from converted phases using receiver functions. Furthermore, shear wave splitting will be analysed to detect regions of anisotropy and their relation to deformation processes and mantle flow.

The first analysis of the data shows high seismic activity all over the Rwenzori region with focal depths concentrated between 10 and 20 km. Few events have been located below 30 km depth. Local P and S-wave tomography using data of the first few months shows significant low velocity anomalies in the northern part of the network, correlating with active volcanic fields and hot springs. From receiver functions, crustal thicknesses of about 23 km

have been found beneath the eastern flank, thinning to the West, with Moho depths as shallow as 8 to 15 km. However, no evidence has been found for a deep crustal root underneath the Rwenzori mountains.

The interpretation of our results will provide constraints for the modeling of geodynamic processes responsible for the formation of the Rwenzori mountains. During the second half of this 6-year project we plan to extend the experimental investigation to a larger area along the western branch of the East African Rift System.

Klaus Weber (Erdbebenstation Bensberg, Universität zu Köln) , Klaus-G. Hinzen

## **Die geologische Struktur des Neuwieder Beckens und ihr Einfluss auf seismische Standorteffekte**

Email: klaus.weber@uni-koeln.de

Das Neuwieder Becken ist ein flaches, tektonisches Senkungsgebiet inmitten des Rheinischen Schiefergebirges. Mit einer maximalen Mächtigkeit von 160 m sind hier tertiäre und quartäre fluviatile Sedimente von Rhein und Mosel, sowie vulkanische und äolische Ablagerungen akkumuliert. Basierend auf geologischen Profilen und Karten, Bohrungen und geophysikalischen Daten wurde ein virtuelles, dreidimensionales Modell der Sedimentfüllung des Beckens erstellt. Aus diesem Modell wurden auf einem Gitter mit 1 km Abstand 166 virtuelle Bohrprofile extrahiert. Den Schichten dieser virtuellen Bohrungen wurden tiefenabhängige ingenieurgeophysikalische Parameter zugeordnet, um eindimensionale Modelle für die Berechnung der Bodenverstärkung zu generieren. Die Berechnungen wurden mit einer modifizierten Version von SHAKE91 durchgeführt, die es gestattet den Unsicherheitsbereich der Eingangparameter zu berücksichtigen. Zur Anregung und Abschätzung nichtlinearer Effekte wurden aus Normspektren spektrumkompatible Zeitverläufe erzeugt, die auf Maximalbeschleunigungen von 0.01, 0.1 und 1 g skaliert wurden. Die berechneten Bodenverstärkungskarten zeigen maximale Verstärkungen um den Faktor 5 bei Frequenzen zwischen 1 und 2 Hz, wenn mit Beschleunigungen von maximal 0.1 bzw. 1 g angeregt wird.

Andreas Schmidt (Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik, Bochum) , Andrea Brüstle , Wolfgang Friederich , Thomas Meier , Mechita Schmidt-Aursch

## Das OBS-Netzwerk des EGELADOS-Projektes

Email: schmidt@geophysik.ruhr-uni-bochum.de

Das EGELADOS-Projekt umfasst ein Netzwerk von 89 Breitband-Stationen, verteilt über das gesamte Gebiet der Hellenischen Subduktionszone. Aufgrund der geographischen Gegebenheiten wurde es notwendig, neben den auf den Inseln gelegenen Landstationen, auch eine Reihe von seismischen Stationen am Meeresboden zu installieren, um eine annähernd gleichmäßige Verteilung zu gewährleisten. Durch die zusätzliche Verwendung von Ozeanbodenstationen (OBS) des neuen deutschen Pools amphibischer Seismometer (DEPAS) ergibt sich die Möglichkeit, einen mittleren Stationsabstand von 60 km im EGELADOS-Netzwerk zu erreichen. Im Mai 2006 wurden zu diesem Zweck 24 OBS mit dem Forschungsschiff Poseidon in der südlichen Ägäis ausgesetzt.

Ziel dieses Projektes ist es, hochauflösende seismologische Untersuchungen im Gebiet der Hellenischen Subduktionszone durchführen zu können. Die hohe Dichte des Netzwerkes ist für die flächendeckende Abbildung der Seismizität von enormer Bedeutung. Ebenfalls soll für die Scher- und Oberflächenwellentomographie eine möglichst lückenlose Überdeckung erreicht werden, wodurch kleinere Strukturen im Mantelkeil und am Plattenkontakt untersucht werden können.

Die OBS bestehen aus einem breitbandigen Seismometer (60 s - 50 Hz) und einem Hydrophon (100 s - 8 kHz). Die Einsatztiefe der ausgeliehenen Geräte wird mit bis zu 6000 m angegeben, womit diese für die Erforschung der Hellenischen Subduktionszone mit einer maximalen Meerestiefe von 4400 m geeignet sind. Die Stromversorgung erfolgt durch die Verwendung von Lithium-Zellen, die eine Einsatzdauer von bis zu 16 Monaten ermöglichen. Nach einer Laufzeit von 10 Monaten werden die OBS im März 2007 wieder geborgen.

Martin Häge (Universität Stuttgart/Institut für Geophysik) , Manfred Joswig

## **Zeitliche und räumliche Ähnlichkeitsuntersuchungen von Nachbeben des Waldkirchbebens**

Email: [haege@geophys.uni-stuttgart.de](mailto:haege@geophys.uni-stuttgart.de)

Am 5.12.2004 ereignete sich bei Waldkirch in der Nähe von Freiburg ein Erdbeben der Stärke  $M_L = 5,4$ . Fünfzehn Stunden nach dem Hauptbeben war ein vom Geophysikalischen Institut der Universität Stuttgart aufgestelltes Kleinarray zur Nachbebenerfassung in Betrieb. Während des Messzeitraums von 38 h wurden 746 Nachbeben im Magnitudenbereich  $-1,7 \leq M_L \leq 3,0$  erfasst, von denen 645 Ereignisse zur Datenanalyse herangezogen wurden. Aufgrund der großen Anzahl detektierter Ereignisse erfolgte die Auswertung mittels statistischer Methoden. Um eine Aussage über die räumliche Verteilung der Nachbeben zu treffen, wurde eine auf Kreuzkorrelation basierende Ähnlichkeitsanalyse durchgeführt. Während bei der zeitlich sortierten Korrelationsmatrix keine Clusterung auftritt, ist bei der nach Dendrogramm sortierten Darstellung eine deutliche Multiplettbildung erkennbar. Eine Untersuchung der zeitlichen Abfolge der einzelnen Multipletts ergab, dass diese während des gesamten, allerdings nur 38 h dauernden Messzeitraums seismisch aktiv waren; somit läßt sich keine Migration von Mikrobeben feststellen. Die durch Nachbeben ermittelte Streichrichtung der Bruchfläche stimmt mit der vom Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau in Freiburg errechneten Bruchausbreitungsrichtung des Hauptbebens gut überein.

Dieter Kurrle (Universität Stuttgart, Institut für Geophysik) , Rudolf Widmer-Schmidrig

## **Anregung langperiodischer Rayleighwellen an kontinentalen Küstengebieten**

Email: [Dieter.Kurrle@geophys.uni-stuttgart.de](mailto:Dieter.Kurrle@geophys.uni-stuttgart.de)

Die Entdeckung der permanent angeregten Eigenschwingungen der Erde führte zu einem verstärkten Interesse an den Ursachen des vertikalen seismischen Rauschens bei Perioden zwischen 20 und 500 s. Ein Teil des Rauschens in diesem Frequenzband ist auf Rayleighwellen zurückzuführen, die sich über große Entfernungen ausbreiten. Mit Hilfe seismischer Breitbandnetzwerke läßt sich die Ausbreitungsrichtung dieser Rayleighwellen ermitteln. Dabei hat sich das Deutsche Regionalnetz (GRSN) aufgrund seiner geometrischen Eigenschaften und seiner hohen Datenqualität als besonders geeignet für Rauschstudien im Bereich  $100\text{ s} < T < 200\text{ s}$  erwiesen. Durch die Umrüstung des Gräfenberg-Arrays erweitert sich das für die Array-Analyse zugängliche Frequenzband zu kürzeren Perioden hin.

Anhand zweier Beispiele sollen Zusammenhänge zwischen dem Auftreffen von Meereswellen auf Küstenlinien und der Anregung langperiodischer Rayleighwellen aufgezeigt werden:

- Am 18./19. April 2006 wurde im GRSN ein starkes, schmalbandiges Rauschsignal mit einer Periode von 26 s registriert. Während der Golf von Guinea bereits als Ursprungsort dieser seit den 60er-Jahren des 20. Jahrhunderts mehrfach untersuchten Signale identifiziert wurde, konnte dies nun auch durch eine Array-Analyse bestätigt werden.
- Bei einer systematischen Untersuchung der GRSN-Daten für die Jahre 1999-2003 konnten mehrere Rauschereignisse detektiert werden, bei denen langperiodische Rayleighwellen ( $100\text{ s} < T < 200\text{ s}$ ) das GRSN aus westlicher Richtung durchlaufen. Durch die Peilung mit anderen Breitbandnetzwerken konnten die europäischen Küstengebiete im Nordatlantik als Ursprungsort dieser Rayleighwellen identifiziert werden.

In beiden Fällen liefert der Vergleich mit in den entsprechenden Zeiträumen gemessenen Wellenhöhen und -perioden weitere Hinweise auf den Ort der Anregung und die dabei wirkenden Mechanismen.



Ventouzi, , Brüstle, A. (Ruhr-Universität Bochum, Deutschland) , Fischer, K.D. , Küperkoch, L. , Meier, T. , Friederich, W. , Taymaz, T. , Papazachos, C. , Stavrakakis, G.

## **Untersuchungen des Kythira-Erdbebens (SW Ägäis) am 8. Januar 2006 mit Hilfe des EGELADOS-Netzes**

Email: bruestle@geophysik.ruhr-uni-bochum.de

Am 8. Januar 2006 wurde die Insel Kythira von einem Erdbeben mittlerer Tiefe mit der Magnitude  $M_w=6.7$  stark erschüttert. Das Hypozentrum befand sich im Forearc-Bereich der westlichen Hellenischen Subduktionszone. Obwohl es im gesamten östlichen Mittelmeerraum verspürt wurde, kam es nur auf den Inseln Kythira und Antikythira sowie im westlichen Kreta und in einem begrenzten Bereich des südöstlichen Peloponnes zu Gebäudeschäden. In der Region sind fünf mitteltiefe Erdbeben mit einer Magnitude  $>5.5$  bekannt, davon fanden vier zwischen 1900 und 1940 statt. Im 18. und 19. Jahrhundert wird von fünf historischen Erdbeben mit geschätzten Magnituden  $>6.5$  berichtet. Es ist allerdings nicht bekannt, ob es sich dabei um flache oder mitteltiefe Ereignisse handelt.

Das Erdbeben wurde von dem EGELADOS-Netz aufgezeichnet, einem temporären seismischen Breitband-Netz, das aus 65 Land- und 24 Ozeanbodenstationen besteht und die gesamte Hellenische Subduktionszone abdeckt. Die hohe Dichte der Erdbebenstationen ermöglichte es uns die Herdparameter des Hauptbebens sowie eine große Anzahl von Nachbeben in den ersten Tagen danach zu bestimmen. Die vorläufigen Ergebnisse zeigen eine NE-SW verlaufende Nachbebenverteilung, was sich gut mit veröffentlichten Herdlächenlösungen und dem allgemeinen Spannungsfeld mitteltiefer Erdbeben des westlichen Teils der Hellenischen Subduktionszone deckt.

Basierend auf der vorläufigen Slip-Verteilung des Hauptbebens wurden Deformationen und Änderungen im Spannungsfeld der südlichen Ägäis berechnet. Diese Deformationen wurden mit den registrierten Verschiebungen der umliegenden Stationen verglichen. Dadurch können wertvolle Einblicke in die postseismische Dynamik von Subduktionszonen gewonnen werden.

Marcus Walther (BGR/SZGRF) , Thomas Plenefisch

## **Vollautomatische Analyse von SKS-Scherwellen-Splitting für regionale seismologische Netzwerke**

Email: walther@szgrf.bgr.de

Eine charakteristische Eigenschaft von SKS und SKKS Phasen ist das Scherwellen-Splitting, welches weltweit beobachtet werden kann. Durch die Auswertung teleseismischer Ereignisse im Bereich zwischen 90 und 130 Grad kann somit das Anisotropieverhalten des Erdmantels untersucht werden.

Durch fortwährende Erweiterungen seismologischer Netze und Öffnung von Archiven stehen zunehmend mehr Aufzeichnungen von Wellendaten zur Verfügung. Beispielsweise existieren für das GRSN kontinuierliche Registrierungen von mehr als 14 Jahren Betrieb und somit Daten von mehr als 5.300 Erdbeben im notwendigen Entfernungsbereich und einer Magnitude zwischen 5.0 und 8.4.

Die manuelle Untersuchung von Daten mit Scherwellen-Splitting ist relativ zeitraubend: Auswahl der Beben, die an den Empfängern eine SKS-Phase aufweisen, Ausschneiden der Daten, Wahl des passenden Filters und Selektion des optimalen Fensters für die Inversion zur Bestimmung der Splitting-Parameter (Winkel der schnellen Achse und Verzögerungszeit).

Bisherige Untersuchungen für Deutschland (z.B. Brechner et al. [1998], Vinnik et al. [1994]) basieren daher nur auf Daten aus den Anfangsjahren des GRSN (bis 1994), auf Daten einzelner Stationen oder temporären Experimenten. Einige Stationen zeigen dabei eine Übereinstimmung der schnellen Achse des anisotropen Materials mit großräumigen tektonischen Einheiten bzw. Übergängen. Andere Stationen weisen jedoch Variationen der Splitting-Parameter in Abhängigkeit vom Azimut auf, so dass komplexe Anisotropie-Bedingungen (z.B. Mehrschichtfall) oder Heterogenitäten vermutet werden können. Bisher konnten die verschiedenen Splitting-Ergebnisse auf Grund der relativ kleinen Datenbasis noch nicht hinreichend invertiert werden.

In unserem Programmpaket kombinieren wir bewährte Techniken wie FK-Analyse und die Harvard-Momententensor-Datenbank, um nun automatisiert Ereignisse auswählen zu können, welche für eine Bestimmung der Splitting-Parameter ausreichend Energie in der SKS-Phase aufweisen. Auch die weiteren genannten Schritte zur Bestimmung der Splitting-Parameter laufen vollautomatisch ab. Im Hintergrund kommt der Seismic Handler zum Einsatz, welcher über eine Python-Schnittstelle angesteuert wird. Hiermit wird es möglich, größere Datensätze reproduzierbar zu analysieren.

In unserem Beitrag stellen wir diese Methode und ihre Grenzen im Detail, sowie die Anwendung auf synthetische und reale Datensätze, vor. Besonderes Augenmerk richten wir dabei auf die Bewertung der automatisch erzielten Ergebnisse.

Aysun Nilay Dinc Akdogan (Christian-Albrechts Universität zu Kiel, Germany) , Martin Thorwart , Yvonne Dzierma , Wolfgang Rabbel , Ernst Flueh , Jürgen Gossler , Waldo Taylor , Guillermo Alvarado

## **Seismicity of Southern Nicaragua and Northern Costa Rica : A Combined Offshore and Onshore Study**

Email: nilay@geophysik.uni-kiel.de

As part of the collaborative research center SFB574, the Central America subduction zone is being investigated by a seismological research subproject conducted by Costa Rican and German partners. The general goal of SFB574 is to study the origin and influence of volatiles and fluids in subduction zones. The seismological subproject constitutes the structural and seismotectonical framework of these investigations. Under this framework, several seismological network installations had already been accomplished. The amphibious network TOMO was operated from November 2005 to May 2006 encompassing the Isthmus of Nicaragua and northern part of Nicoya Peninsula, Costa Rica. The network comprises 19 ocean bottom seismometers provided by IFM-GEOMAR, Kiel and 35 land stations provided by GFZ, Potsdam and Red Sismológico Nacional (RSN), Costa Rica. Approximately 2000 earthquakes were recorded during the observation period. These events are located using a previously defined 1D model for this region. We observe two prominent features: 1) The intermediate and deep events, giving a preliminary idea of the geometry and the dip angle of the slab. In comparison to central Costa Rica, the dip angle is steeper. 2) Clusters of events in the region of continental slope which are related to the faults. These faults can be possible pathways for fluid flow. Fluid flow may generate earthquake clusters. For further insights into the composition and physical state of the lithosphere and the dynamics of the subduction zone, focal mechanism solutions and local earthquake tomography is going to be performed in the continuation of this work.

Martin Thorwart , Yvonne Dzierma , Aysun Nilay Dinc Akdogan (Christian-Albrechts Universitat zu Kiel, Germany) , Wolfgang Rabbel , Ernst Flueh , Waldo Taylor , Guillermo Alvarado , Mauricio Mora

## **Receiver function and non-volcanic tremor studies in Costa Rica**

Email: [nilay@geophysik.uni-kiel.de](mailto:nilay@geophysik.uni-kiel.de)

As part of the collaborative research center SFB574, the Central America subduction zone is being investigated by a seismological research subproject conducted by Costa Rican and German partners. The general goal of SFB574 is to study the origin and influence of volatiles and fluids in subduction zones. The seismological subproject constitutes the structural and seismotectonical framework of these investigations. Under this framework, several seismological network installations had already been accomplished. In addition to the short period amphibious network TOMO, two other experiments are being performed in Costa Rica: a transect comprising 18 broadband stations in the Talamanca region and array of 6 borehole stations at the Nicoya Peninsula. The steepness of the subducting slab is one of the main ambiguities in southern Costa Rica where the Cocos Ridge subducts beneath Costa Rica and seismicity in the Wadati-Benioff zone is decreasing. For this reason receiver function analysis is being performed for imaging the subducting slab and the Moho.  $V_p/V_s$  ratios which can be obtained as well from this analyses, will give some indications for the amount of fluid contents in the mantle wedge. The aim of the borehole experiment is to observe non-volcanic tremors in Costa Rica. There are some indications of silent slip events in the area of the installation which are correlated with non-volcanic tremors. Previous works in Japan and Cascadia mention that non-volcanic tremors are related to fluid flow at the plate boundary.

Christian Weidle , Valerie Maupin , Joachim Ritter , Tormod Kvaerna , Johannes Schweitzer (NORSAR) , Nils Balling , Hans Thybo , Jan Inge Faleide

## **MAantle investiGations of Norwegian Uplift Structure (MAGNUS) - a flying start into Topo Europe**

Email: christian.weidle@geo.uio.no

The geological history of Norway shows a complex series of periods of convergence and divergence. The last period of divergence in the Cenozoic resulted in the opening of the North Atlantic Ocean. An important issue in the geodynamics of this region is the substantial vertical movements experienced during the Cenozoic by the North Atlantic margins, including Southern Norway. Isostatic response to unloading contributed significantly to the Neogene uplift, however, this cannot be the only operating mechanism. The mechanisms controlling the broad uplift remain enigmatic but its long wavelength is suggestive of mantle processes, possibly related to the presence of the Icelandic plume in the North-Atlantic.

Recent studies lead by the University of Aarhus concluded that the region of maximum topography beneath Southern Norway coincides with a thickened crust which partly comes up for the gravitational deficit beneath the south Norwegian mountains. To improve our understanding of the mantle structure beneath Southern Norway, a regular network of 31 broadband seismometers from the KABBA instrument pool (University of Karlsruhe) was deployed in September 2006 in the study area with an intended operational period of < 2 years. Together with permanent installments in the region, the virtual MAGNUS network in Southern Norway sums up to 40 broadband instruments.

In our contribution we will introduce the scientific background, concept and planned investigations of the ongoing experiment. As an international collaboration between the Universities in Oslo (NOR), Karlsruhe, Copenhagen and Aarhus (DEN) and NORSAR (NOR), this project is a flying start in the impending Topo Europe initiative.

Aysun Nilay Dinc Akdogan (Christian-Albrechts Universität zu Kiel, Germany) , Martin Thorwart , Ivan Koulikov , Ivonne Arroyo , Wolfgang Rabbel , Ernst Flueh

## **Subduction zone structure and related processes beneath central Costa Rica**

Email: [nilay@geophysik.uni-kiel.de](mailto:nilay@geophysik.uni-kiel.de)

The subduction zone structure and related processes are interpreted using a 3-D velocity model and seismicity of central Costa Rica obtained by the means of local earthquake tomography. There are three prominent features that can be clearly identified from the velocity model and the earthquake distributions: 1) A 4-10 percent high velocity perturbation down to 60 km depth related to the Cocos Plate subducting under Costa Rica. The earthquakes of intermediate depth are mostly located in the uppermost part of the slab and are supposed to be caused by dehydration embrittlement associated with metamorphic phase transformations. 2) A 10-20 percent velocity decrease reaching down to 20 km depth, along the trench which can be correlated with high deformation caused by the bending of the incoming plate and possibly the occurrence of serpentinization. 3) Negative velocity perturbations under the volcanic arc which can be caused by high content of upwelling fluid and magma, confirming the fluid release from the slab. These interpretations are supported by petrological modelling based on the correlation between the seismic wave velocity, H<sub>2</sub>O content and metamorphic phase transformations. It provides a better insight into the origin of seismicity of the seismogenic zone, which is supposed to be generated by interactions of thermal, mechanical, hydrological and compositional processes in the subduction factory.

Andrea Brüstle (Ruhr-Universität Bochum) , Andreas Schmidt , Cedric Legendre , Thomas Meier , Wolfgang Friederich

## **Untersuchung analoger Wellenformen am Beispiel des 1956 Erdbebens (Ms=7.4) in der südlichen Ägäis**

Email: [bruestle@geophysik.ruhr-uni-bochum.de](mailto:bruestle@geophysik.ruhr-uni-bochum.de)

Die Digitalisierung analoger Seismogramme ermöglicht es, Aufzeichnungen von bedeutenden Erdbeben vor ca. 1980 zu konservieren und Herdparameter solcher Erdbeben neu zu bestimmen oder zu vervollständigen.

Am 9. Juli 1956 fand eines der stärksten Erdbeben in der Ägäis zwischen den Inseln Amorgos und Santorini mit der Magnitude Ms=7.4 statt. Ein starkes Nachbeben der Magnitude Ms=7.2 erfolgte nur wenige Minuten nach dem Hauptbeben. Die Erdbeben richteten auf den umliegenden Inseln große Zerstörungen an. Ein Tsunami, mit einer max. Wellenhöhe von 30 m an der Südküste von Amorgos, verursachte Schäden in einem Umkreis von bis zu 100 km. Die beiden Ereignisse liegen im Bereich des Amorgos Beckens im zentralen Vulkanbogen der Hellenischen Subduktionszone.

Das Hauptbeben wurde an zahlreichen Erdbebenstationen in Europa registriert, so dass von ca. 18 Stationen aus Belgien, Deutschland, Griechenland, Italien, Kroatien, Malta, Österreich, Polen, Schweiz, Spanien und der Türkei Seismogramme gesammelt werden konnten. Die Registrierung erfolgte mit mechanischen bzw. elektrodynamischen Seismographen auf Ruß- oder Photopapier. Die Aufzeichnungsqualität ist sehr unterschiedlich. So sind die Registrierungen an 7 Stationen nicht vollständig oder zum Teil nur undeutlich. An 11 Stationen sind die Wellenformen vollständig und mit hoher Qualität aufgezeichnet worden.

Die gesammelten Seismogramme wurden im Rahmen des EuroSeismos-Projektes am INGV (Rom, Italien) eingescannt und können mit dem am INGV entwickelten Programm Teseo digitalisiert werden. Zur Bestimmung der Herdparameter werden synthetische Wellenformen für verschiedene Herdtiefen und Herdmechanismen berechnet und mit den digitalisierten Seismogrammen verglichen. Die für die Berechnung der synthetischen Seismogramme benötigten Geschwindigkeitsmodelle werden aus der Inversion langperiodischer Wellenformen aktueller Erdbeben erhalten.

Robert Barsch (Geophysik, LMU München) , Heiner Igel , Joachim Wassermann

## **Archiving, processing and simulation of multi-component data in seismology using Web Services**

Email: barsch@lmu.de

The field of seismology has been suffering from a wide gap between theory and observations for decades. While the databases with permanent or project specific high-quality broadband waveforms are continuously inundated with new observations, the ability to analyse, interpret and model the data (automatically, or manually) is becoming more and more difficult. In addition, standard analysis of seismograms is still primarily based on the extraction of a few bytes of information (e.g., travel times, surface wave phase velocities, polarities, peak amplitudes, wavelet-parameters) while a large part of the information contained in the complete waveforms is disregarded. With the advent of powerful 3D simulation technologies combined with the exponentially increasing computational resources we are entering a new era with entirely new models for data analysis and inversion. However, with the current seismic software tools to handle data, we are ill-prepared for these rapid developments. In this project we intend to develop a new paradigm with the intention to closely link data archiving, waveform processing, and simulation infrastructure with strong emphasis on the field of seismology. These developments will be carried out in close collaboration with ongoing international projects in seismology (NERIES, SPICE, CIG, SCEC) as well as national initiatives and data centers. While the focus of those projects lies in the handling of real-time observations, automatic processing of large data sets and/or the provision of computational wave propagation algorithms, the main complementary developments envisaged in this project are (1) an open source, modular, multi-component database with access to observational infrastructure (partly provided by NERIES); (2) a link between database, multi-component processing tools and executable simulation algorithms (provided by SPICE); and (3) the development of formats and standards to combine the joint storage and processing of observations and simulations (partly provided by FDNS and IRIS). All developments will be freely available to the relevant user communities.



Sebastian Heimann (Institut für Geophysik, Universität Hamburg) , Simone Cesca , Torsten Dahm , Frank Krüger , Klaus Stammler , Rainer Kind

## **Kinematic source parameters for strong earthquakes: A new modular and efficient inversion code, based on a Greens function database for the whole earth**

Email: [sebastian.heimann@zmaw.de](mailto:sebastian.heimann@zmaw.de)

Currently, extended earthquake source parameters like rupture velocity, rupture direction, source time function and geometry of the rupturing surface are not determined routinely for medium to large global earthquakes. Therefore we are developing an automated method to invert for extended earthquake source parameters, using teleseismic waveform data.

A major challenge in using teleseismic waveform data to determine extended earthquake source parameters is related to the solution of ambiguities and uncertainties in the obtained earthquake models, which arise from over-parameterization. To reduce the vast complexity we focus on the definition of a minimal and robust set of parameters. This is also important with regard to the assembly of earthquake catalog data from the results of our inversion, where the retrieved parameters should be statistically meaningful.

To evaluate and compare different sets of source parameters and inversion strategies, we are developing a flexible and powerful new inversion tool, based on a large Greens function database for the whole earth.

We present preliminary results of the application of the developed inversion code to synthetic tests and an application to a large earthquake.

Tian Xia (Informatik, Uni Karlsruhe) , Fabian Krzikalla , Tobias Müller

## Analytische Abschätzungen der Streudämpfung in zufallsverteilten Medien

Email: fabian.krzikalla@gpi.uni-karlsruhe.de

Unter Streudämpfung seismischer Wellen versteht man in der Seismik und in der Krustenseismologie die Umverteilung von Wellenfeldenergie aus der Nähe des Ersteinsatzes hin zu später eintreffenden Signalen, d.h. vom ballistischen Puls hin zur Coda. Während in inhomogenen, geschichteten Medien *mehrfache Rückstreuung* auftritt, verursachen in 3-D inhomogenen zufällige *Beugung* und *Brechung* eine zusätzliche Dämpfung. Die Mechanismen von Beugung und Brechung führen zur zufälligen Fokussierung und Defokussierung von Wellenfeldenergie, was in der geometrischen Optik dem Auftreten divergierender bzw. sich kreuzender Strahlen entspricht. Im Allgemeinen können in inhomogenen Medien mit zufallsverteilten anisotropen Heterogenitäten alle drei Mechanismen – Reflektion, Beugung und Brechung – auftreten.

Auf der Grundlage der Rytov-Approximation kann das Zusammenspiel der verschiedenen Streudämpfungsmechanismen durch eine Überlagerung von analytischen Dämpfungsabschätzungen für geschichtete Medien und 3-D anisotrop heterogene Medien beschrieben werden (Müller und Shapiro, 2004), wobei die Ergebnisse nur für die Wellenausbreitung ebener Wellen entlang der Hauptachsen der Heterogenitäten formuliert sind. In reflexionsseismischen Messungen ändert sich jedoch mit wachsendem Offset der Einfallswinkel der Wellen, was erheblichen Einfluss auf die Qualität seismischer Abbildungen hat (Rabenstein et. al, 2006; Krzikalla und Müller, 2006).

Anhand von numerischen Untersuchungen in 2-D anisotropen, zufallsverteilten Medien werden für beliebige Einfallswinkel bezüglich der Mediumsheterogenitäten die Amplitudenfluktuation des Pulswellenfeldes und das damit verbundene Dämpfungsverhalten quantifiziert und mit theoretischen Abschätzungen verglichen.

### References

Müller, T. M., Shapiro, S. A., 2004, Scattering attenuation in randomly layered structures with finite lateral extent: A hybrid Q model, *Geophysics* **69**, 1530–1534

diffraction and refraction in anisotropic random media: implications for seismic scattering attenuation estimates, *Geophys. J. Int.* **155**, 139–148 Krzikalla, F. , Müller, T. M., 2006, Scatte-

ring Attenuation of Seismic Waves in Anisotropic Media, *Jahrestg. d. Dt. Geophys. Ges.*, Bremen, A13

L. Rabenstein, S. Buske, S. Shapiro, 2006, Seismische Abbildung in stark heterogenen Medien – Numerische Modellrechnungen und Reflection-Image-Spectroscopy, *Jahrestg. d. Dt. Geophys. Ges.*, Bremen, B45

A. Jakovlev (Frankfurt) , I. Koulakov , G. Rumpker

## **Anisotropic local travel-time tomography with examples from the Baikal and Rwenzori regions**

Email: [rumpker@geophysik.uni-frankfurt.de](mailto:rumpker@geophysik.uni-frankfurt.de)

We present an algorithm for anisotropic seismic tomography which provides information about seismic velocity variations along different directions. The algorithm is based on travel-time measurements from local events recorded at stations of local and/or regional networks. A preliminary localization of the events is performed using travel times computed in a 1D isotropic velocity model including corrections for station elevations. The anisotropic properties at each point within the volume of interest are characterized by a type of transverse isotropy which can be defined by four parameters: the fast and slow velocities and two angles defining the orientation of the symmetry axis. The parameters are obtained for each node of the parameterization grid simultaneously with source parameters (coordinate and origin time corrections) and station corrections after several iterations of the general inversion step.

We apply the algorithm to travel-time data from local and regional events recorded at two regions of continental rifting: the Baikal rift zone and the Rwenzori region, Uganda, within the western branch of the East-African rift. Beneath the Baikal rift, within the uppermost mantle, we observe a clear low-velocity zone. Anisotropic symmetry axes seem to indicate diverging flows away from the center of the rift. Beneath the Eastern Sayan zone, which is characterized by Cenozoic volcanism, the observed horizontal anisotropy is almost negligible. Preliminary results from Uganda show that orientations of the TI symmetry axes beneath the northern flank of the Rwenzori Mountains tend to align in N-S orientation. On the western side, near the Sempaya hot springs, anisotropic orientations change to SE-NW. The distribution of the velocity anomalies remains quite similar compared to the results of the isotropic inversion, however, the velocity anomalies become smoother and less significant.

C. Legendre (Ruhr Universität Bochum) , S. Lebedev , W. Friederich , T. Meier

## **Preliminary 3D S-wave velocity model of the European upper mantle from inversion of Surface and S waveforms**

Email: legendre@geophysik.ruhr-uni-bochum.de

Tomography is the method of choice to determine a 3D image of the Earth's interior, and to draw conclusions on the thermal state of the upper and lower mantle. We present a preliminary 3D S-wave velocity model for the European upper mantle. It is calculated by Automated Multimode Inversion (AMI). Long period waveforms are automatically inverted for path average 1D S-wave velocity models that constrain the 3D S-wave velocity model of the upper mantle.

We used seismic data recorded during the last decades such as the Geoscope, IRIS, GEOFON, GRSN, and others that build the Virtual European Seismological Network (VEBSN). The increasing amount of data and stations allow to determine models with increased resolution. In the future, the calculated model will be used as a background model to develop a more detailed local tomographic model of the southern Aegean, using the EGELADOS dataset.

We have used about 600 events that occurred in Europe between 1990 and 2002 and for which the CMT moment tensors solutions are available, and collected all available data. We thus obtained a dataset of about thirty thousand seismograms. The inversion produces more than 6000 1D path models, used to build a high resolution, 3D model of the European upper mantle.

Europe is a complex region, with many different structures, such as subduction (e.g. the Hellenic Subduction Zone), but also hotspots (e.g. Iceland). The main structures, such as the Tonquist Zone, the old subducted slabs, the Iceland hotspot, the Panonian basin, and other main structures such as the Afar plume, are clearly and well resolved. The model is presented using a number of cross sections, and map views. Resolution tests are shown.

Monika Bischoff (Ruhr-Universität Bochum) , Thomas Meier , Michael Alber

## **HAMNET - ein lokales seismologisches Netz zur Untersuchung bergbauinduzierter Seismizität in Hamm**

Email: [Bischoff@geophysik.ruhr-uni-bochum.de](mailto:Bischoff@geophysik.ruhr-uni-bochum.de)

Durch den Steinkohlenabbau im Ruhrgebiet werden seismische Ereignisse induziert. Im Jahr 2005 wurden vom seismologischen Observatorium der Ruhr-Universität Bochum ca. 1600 Ereignisse mit Magnituden bis  $M_L = 2.6$  beobachtet. Vorausgehende Arbeiten haben gezeigt, dass bergbauinduzierte seismische Ereignisse und die Abbauaktivitäten räumlich und zeitlich sehr gut korrelieren. Die Ereignisse können beispielsweise einer aktiven Bauhöhe zugeordnet werden. Zu Zeiten, in denen der Abbau aufgrund von Feiertagen oder Wartungsschichten stoppt, ist die seismische Aktivität deutlich geringer. Das Gebirge reagiert direkt auf das veränderte umgebende Spannungsfeld. Die durch den Abbau induzierten Spannungen werden abbaubegleitend abgebaut, indem tragende Sandsteinbänke seismisch versagen. Verschiedene Abbaugebiete zeigen unterschiedliche zeitliche Verteilungen in den Energiefreisetzungen und Magnituden-Häufigkeitsverteilungen.

Im Sommer 2006 wurde das lokale seismologische Netz HAMNET oberhalb des aktuellen Steinkohlenabbaus installiert, um gezielt die Lokalisierungen und Herdmechanismen der seismischen Ereignisse zu untersuchen, die durch die Bauhöhe S109 hervorgerufen werden. Der aktive Abbau in einer Tiefe von 1100 m hat eine Breite von 300 m und eine Länge von 1100 m. Der entstehende Hohlraum wird nicht wieder verfüllt. Der Abbau begann im August 2006 und wird voraussichtlich bis April 2007 fortgeführt. Da die Stationen über einen längeren Zeitraum registrieren, kann das Abklingverhalten der seismischen Aktivität untersucht werden.

Das Stationsnetz besteht insgesamt aus 15 Stationen. Übertage befinden sich 9 kurzperiodische Seismometer vom Typ Mark L-4-3D (1 Hz) und 6 Breitbandseismometer der Typen Güralp CMG-3T (60 s) und Trillium 40 (40 s). Breitbandseismometer eignen sich, um Nahfeldeffekte zu registrieren. Beispielsweise können hier statische Versätze beobachtet werden. Die Ausdehnung des Netzes beträgt in Nord-Süd-Richtung etwa 2.3 km, in West-Ost-Richtung etwa 1.8 km. Zwei Stationen wurden direkt oberhalb des aktiven Abbaus platziert. Untertage wird das Netz durch weitere 6 Messstationen ergänzt, um die Bestimmung der Herdtiefe zu verbessern.

Neben den seismischen Ereignissen, die durch den Abbau hervorgerufen werden, können untertägige Sprengungen registriert werden. Durch den Fre-

quenzgehalt ( $> 30\text{Hz}$ ) lassen sie sich klar von den induzierten Ereignissen unterscheiden. Obwohl die Standorte, die sich größtenteils in Wohngebieten befinden, keine idealen Bedingungen für seismologische Stationen liefern, zeigen Datenbeispiele ein gutes Signal/Noise-Verhältnis. Registrierbeispiele und erste Lokalisierungen werden gezeigt.

Rudolf Widmer-Schnidrig (BFO / Universität Stuttgart) , Dieter Kurrle

## **Das Gräfenberg Array - Langperiodische Datenqualität nach der Seismometer Umrüstung**

Email: [widmer@geophys.uni-stuttgart.de](mailto:widmer@geophys.uni-stuttgart.de)

Im Vorfeld der Umrüstung des Gräfenberg (GRF) Arrays von den Streckeisen STS-1 Seismometern mit 20s Eigenperiode zu den neueren STS-2 Seismometern mit 120s Eigenperiode haben wir darauf gedrängt, daß bei der Installation der Sensoren die selbe Abschirmung zum Einsatz kommt wie sie bei der Mehrzahl der Regionalnetzstationen (GRSN) seit Mitte der 90er Jahre realisiert ist: der Sensor wird von einer 15cm dicken Gabbrogrundplatte und einem Aluminiumtopf umschlossen die zusammen eine druckdichte Abschirmung bilden.

Als Mass für die Signalqualität der Vertikalkomponenten verwenden wir die Detektierbarkeit der permanent angeregten Hintergrundeigenschwingungen im Band 2-7 mHz (Hum). Am GRF Array ist es uns gelungen in den ersten drei Monaten seit der Umrüstung den Hum an 10 von 13 Stationen nachzuweisen. Damit ist die Hum-Ausbeute vergleichbar hoch wie bei den ebenfalls mit Gabbroplatte und Aluminium Topf abgeschirmten GRSN Stationen und wesentlich besser als bei vergleichbaren, mit STS-2 ausgerüsteten Netzwerken (FNET, GEOFON, SDS-Net).

Zusammen mit dem GRSN lassen diese ersten Ergebnisse mit GRF Daten die berechtigte Vermutung zu, daß mit der druckdichten Gabbroplatte/Alutopf-Abschirmung die Signalqualität des STS-2 wesentlich verbessert werden kann gegenüber einer ausschliesslich nach thermischen Gesichtspunkten ausgelegten Abschirmung.

Basierend auf unseren bisherigen Analysen kann die Umrüstung des GRF zumindest bei den langperiodischen Signalen als Erfolg gewertet werden. Nebst dem zu erwartenden Gewinn durch die grössere Eigenperiode des STS-2 haben unsere Analysen gezeigt, daß das GRF auch gegenüber vergleichbar ausgerüsteten Netzwerken sich durch überdurchschnittlich hohe Datenqualitt auszeichnet.

Am Poster werden auch horizontale Eigenschwingungspektren rezenter Beben verglichen und die Qualität dieser Daten beurteilt.

Christoph Sens-Schoenfelder (Universität Leipzig) , Ludovic Margerin , Ulrich Wegler

## Ausbreitung und Dämpfung von $L_g$ -Wellen in kontinentaler Kruste

Email: sens-schoenfelder@uni-leipzig.de

Regionale Erdbebenregistrierungen in kontinentaler Kruste werden häufig von einem komplexen Wellenzug dominiert, der sich aus mehrfach zwischen Moho und Oberfläche reflektierten S-Wellen zusammensetzt. Diese  $L_g$  Wellen werden sowohl für die Dämpfungsbestimmung des Krustenmaterials, wie auch für die Verifikation des CTBT genutzt. Ein genaues Verständnis der Mechanismen, welche die Ausbreitung dieser Wellen beeinflussen ist daher von einiger Bedeutung. Die Streuung an klein skaligen Heterogenitäten spielt dabei eine besondere Rolle. Bereits kleine Änderungen des Strahlparameters können bei  $L_g$ -Wellen zu starker Dämpfung führen, da Energie durch die Moho in den Mantel verloren geht. Auf diese Weise kommt nicht nur der Stärke der Streuung in Form der Transportweglänge  $l^*$ s sondern auch der Art der Streuung, ausgedrückt durch die Korrelationslänge  $a$  eine Bedeutung zu.

Wir stellen einen Algorithmus vor, der mit Hilfe von Monte-Carlo Simulationen die Energieausbreitung in einem elastischen Medium berechnet. Anhand eines Modells bestehend aus einer streuenden Schicht die durch Oberfläche und Schichtgrenze (Moho) begrenzt wird veranschaulichen wir die Ausbildung und Dämpfung von  $L_g$  Wellen und deren Abhängigkeit von den Streueigenschaften des Ausbreitungsmediums.

Durch das Einfügen eines Störkörpers mit, von der Schicht verschiedenen, Eigenschaften zeigen wir wie das Phänomen des  $L_g$ -Blockage durch Gebirgszüge mit den veränderten Streueigenschaften des Störkörpers erklärt werden kann.

Dirk Rößler (Universität Potsdam) , Frank Krüger , Matthias Ohrnberger

## **Bruchausbreitung des TsE (Mw7,7) am 17. Juli 2006 vor Java**

Email: diroess@uni-potsdam.de

Mittels seismischer Arraymethoden analysieren wir die Ausdehnung und Dauer des Mw7,7 tsunamogenen Erdbebens (TsE), welches sich am 17. Juli 2006 vor der Küste von Java, Indonesien, ereignet hat und stellen diese dar. Wir verwenden Seismogramme von Breitbandstationen weltweit vorhandener Netzwerke und Arrays in teleseismischen Distanzen zwischen  $30^\circ$  und  $100^\circ$  und Bestimmen deren Kohärenz mittels Semblanceanalyse.

Der Bruchbeginn liegt in der Nähe des vom NEIC bestimmten Epizentrums. Wir finden eine Ausdehnung des koseismischen Bruches von etwa 200 km. Diese befindet sich im Bereich der Nachbeben, die sich innerhalb von 3 Tagen nach dem Hauptstoß ereignet haben. Die Bruchdauer erreicht wenigsten 150 s bei einer Bruchgeschwindigkeit im Bereich 1-1,5 km/s. Dies ist deutlich unterhalb der Geschwindigkeit von Scherwellen. Damit beobachten wir eine langsame Bruchausbreitung, wie sie für tsunamogene Erdbeben möglicherweise typisch ist.

Mindestens 2 zeitlich und räumlich getrennte Phasen des Bruchs können unterschieden werden. Während der ersten und zeitlich längsten Phase war der Bruch in der Nähe des Epizentrums konzentriert oder bilateral. Nach einer Periode scheinbarer Ruhe, setzt sich der Bruch in seiner folgenden Phase in südöstliche Richtung fort, wo er auch endet.

Die scheinbare Lokalisierung des Bruchs ist abhängig vom betrachteten Frequenzbereich. Dies lässt darauf schließen, dass bei verschiedenen Frequenzen unterschiedliche Eigenschaften des Bebens beobachtet werden können. Werden Frequenzen oberhalb 0,2 Hz verwendet, kann der zeitliche Verlauf des Bebens besonders gut abgebildet werden. Außerdem deutet sich eine weitere zeitliche und räumliche Unterteilung des Bruchgeschehens an.

Die Anwendung derselben Methode auf ein Nachbeben (Mw5,8) sowie auf synthetische Quellen trägt dazu bei, die Auflösungsmöglichkeiten der angewandten Methode zu verstehen.



---

## **2.21 UI - Umwelt- und Ingenieurgeophysik**

Hendrik Paasche (Universität Potsdam) , Jens Tronicke

## **Gemeinsame Inversion geophysikalischer Datensätze: Ein zonierter Ansatz basierend auf fuzzy c-means Clusteranalyse**

Email: [hendrik@geo.uni-potsdam.de](mailto:hendrik@geo.uni-potsdam.de)

Bei der geophysikalischen Erkundung des oberflächennahen Untergrundes werden in der Regel Datensätze mit verschiedenen geophysikalischen Verfahren über dem gleichen Untergrundbereich gesammelt. Um die Qualität und Zuverlässigkeit bei der Auswertung der Daten und bei deren anschließender Interpretation zu verbessern, ist es erforderlich, die gesammelten Informationen und erhaltenen Modelle möglichst quantitativ zu integrieren. Die effizienteste Möglichkeit, den Informationsgehalt der einzelnen Datensätze quantitativ in einem geophysikalischen Multiparametermodell zusammenzufassen, besteht in der Integration der gesammelten Datensätze während des Prozesses der Modellgenerierung durch gemeinsame Inversion aller Datensätze. Wir stellen einen Ansatz zur gemeinsamen Inversion verschiedener Datensätze vor, der auf der Kombination konventioneller Inversionsalgorithmen („regularized least squares inversion“ für die Inversion der einzelnen Datensätze) mit fuzzy c-means Clusteranalyse basiert. Im Gegensatz zur post-inversen Modellintegration mittels fuzzy c-means Clusteranalyse (Paasche et al., 2006) werden bei der gemeinsamen Inversion die einzelnen, den zu invertierenden Datensätzen entsprechenden Modelle nach jedem Iterationsschritt mittels fuzzy c-means Clusteranalyse integriert. Das Ergebnis der Clusteranalyse ist ein zoniertes Multiparametermodell mit Informationen über die Zuverlässigkeit der Zonierung. Aus diesem Modell lassen sich wiederum Verteilungen der einzelnen invertierten Parameter bestimmen, die dann als Startmodell für den nächsten Iterationsschritt bei der Inversion dienen. Die entwickelte gemeinsame Inversionsmethodik resultiert in einem zonierten Multiparametermodell des Untergrundes, wobei die Beziehungen zwischen den einzelnen Modellparametern innerhalb einer Zone nur gering variieren. Verglichen mit der post-inversen Modellintegration von Paasche et al., (2006) resultiert die gemeinsame Inversion in zuverlässigerer Zonierung und besserer Parameterbestimmung.

Literatur Paasche, H., Tronicke, J., Holliger, K., Green, A.G., Maurer, H.R., 2006, Integration of diverse physical-property models: Subsurface zonation and petrophysical parameter estimation based on fuzzy c-means cluster analyses. *Geophysics*, 71, H33-H44.

Michael Grinat (GGA-Institut Hannover) , Wolfgang Südekum

## Der Einsatz vertikaler Elektrodenstrecken bei der Erkundung von Kerosin-Kontaminationen

Email: m.grinat@gga-hannover.de

Auf dem Flughafen Schwerin-Parchim (Mecklenburg-Vorpommern) werden zurzeit unter Leitung der Firma Übersohn Geotechnik und Umweltconsult zwei mit Kerosin belastete Flächen saniert. Dabei konnten von Herbst 1999 bis Januar 2007 etwa 320.000 Liter reines Kerosin gewonnen werden (ÜBERSOHN, pers. Mitteilung).

Das GGA-Institut führt auf den beiden Flächen unabhängig von der Sanierung geoelektrische Untersuchungen durch. Zunächst sollte geprüft werden, ob das Kerosin mit Hilfe der Oberflächen-geoelektrik nachzuweisen ist. Erfolg versprechend schien insbesondere die geoelektrische Kartierung (Wenner-Elektrodenanordnung mit 5 m Elektrodenabstand) zu sein, da der dabei nachgewiesene Bereich mit erhöhten scheinbaren spezifischen Widerständen gut mit der aus Pegelbohrungen bekannten Ausdehnung der kerosinbelasteten Zone übereinstimmte. Die mit verschiedenen Multielektrodenapparaturen gemessenen Pseudosektionen zeigten dagegen keine erhöhten spezifischen Widerstände im Tiefenbereich der Kerosinzone (4-6 m unter Gelände). Tiefensondierungen in Schlumberger-Elektrodenanordnung deuteten an, dass die spezifischen Widerstände im kerosinbelasteten Gebiet gegenüber dem unbelasteten Bereich im Grundwasserleiter unterhalb der Kerosinphase erniedrigt sind (70 Ohmm gegenüber 90-100 Ohmm). Über diese Untersuchungen ist bereits auf der DGG-Tagung in Jena berichtet worden (GRINAT et al. 2003).

Zur näheren Erkundung der Verteilung der spezifischen Widerstände im oberflächennahen Bereich wurden im Februar 2003 auf der ersten Sanierungsfläche zwei vertikale Elektrodenstrecken im belasteten und im unbelasteten Gebiet fest eingebaut. Auf diesen 8 m langen Strecken sind 32 ringförmige Stahlelektroden im Abstand von 0,25 m angeordnet. Durch Wiederholungsmessungen auf diesen Strecken sollte darüber hinaus geprüft werden, ob sich die spezifischen Widerstände im belasteten Bereich im Laufe der Sanierung verändern. Die Messungen, z.B. mit der Wenner-Alpha-Elektrodenanordnung, haben gezeigt, dass im Bereich der Kerosinbelastung die wassergesättigten Sande etwas niedrigere scheinbare spezifische Widerstände aufweisen als die im unbelasteten Bereich.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurden 2004 auf der zweiten (neuen) Sanierungsfläche zwei verbesserte vertikale Elektrodenstrecken eingebaut, jeweils eine im belasteten und eine im unbelasteten

Bereich. Die Messungen zeigen deutlich erniedrigte scheinbare spezifische Widerstände im Aquifer direkt unterhalb der Kerosinbelastung (40-60 Ohmm gegenüber etwa 100 Ohmm). Signifikante Veränderungen sind im Verlauf der Sanierung jedoch (noch?) nicht aufgetreten. Es ist festzuhalten, dass alle vier Elektrodenstrecken bisher zuverlässig arbeiten.

Von ähnlichen Abnahmen des spezifischen Widerstandes bei Kohlenwasserstoffschäden berichten auch ATEKWANA et al. (2004). Diese erklären die geringeren spezifischen Widerstände im Grundwasserleiter durch mikrobiellen Abbau der Kohlenwasserstoffe und nachfolgende Reaktionen der dabei entstehenden Nebenprodukte (Säuren) mit den Gesteinsmineralen, was zu einer Erhöhung der Ionenkonzentration im Grundwasser und somit zu der beobachteten Erniedrigung des spezifischen Widerstandes im Aquifer führt.

GRINAT, M., SAUER, J. und SÜDEKUM, W. (2003): Zum Nachweis von Kerosin-Kontaminationen mit Hilfe der Geoelektrik. – Proceedings 63. Jahrestagung der DGG: UI10; Jena.

ATEKWANA, E.A., ATEKWANA, E.A., ROWE, R.S., WERKEMA JR., D.D. und LEGALL, F.D. (2004): The relationship of total dissolved solids measurements to bulk electrical conductivity in an aquifer contaminated with hydrocarbon. – J. Applied Geophys., 56: 281-294.

-Ernst Niederleithinger (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung)

## Numerische Simulation von Fundamentpfahlprüfungen

Email: Ernst.Niederleithinger@bam.de

Fundamentpfähle dienen zur Gründung von Bauwerken auf nicht tragfähigem Untergrund. Seit der römische Antike werden Pfähle systematisch genutzt. Heute stehen zahlreiche wichtige Bauwerke vor allem in Stadtzentren an Flüssen auf Pfählen.

Da die Pfähle nach Herstellung einer Qualitätsprüfung nicht mehr direkt zugänglich sind, behilft man sich mit zerstörungsfreien Prüfverfahren. Die gebräuchlichste ist die einfache „Pfahlintegritätsprüfung“ bei der die von einem Hammerschlag auf den Pfahlkopf erzeugte elastische Welle (bzw. deren Reflexionen am Pfahlfuß und Fehlstellen) durch einen einzigen Sensor ebenfalls am Pfahlkopf beobachtet wird. Dieses Verfahren hat sich seit vielen Jahren bewährt, in Einzelfällen sind die Ergebnisse aber nicht eindeutig oder strittig. Andere Verfahren arbeiten mit Sensoren in einem parallelen Bohrloch („Parallel Seismic“)

Bei beiden Verfahren sind zahlreichen Fragen hinsichtlich der Auswertung und Interpretation offen. Zudem sind notwendige Randbedingungen und Verfahrensgrenzen nicht vollständig erforscht.

Zur Klärung ist eine numerische Simulation der Wellenausbreitung im Pfahl und dem umgebenden Erdreich hilfreich. Dies wird an der BAM mit einem Programm, das die CEFIT-technik (Cylindersymmetrical Elastodynamic Finite Integration Technique) nutzt, durchgeführt. Die Diskretisierung des Untergrundes erfolgt in Zylinderkoordinaten, vereinfacht auf den 2D-Fall (Rotationssymmetrie).

Mit Hilfe der Simulation können nicht nur Messergebnisse aus der Praxis nachvollzogen werden, sondern auch systematisch Einflüsse von Randbedingungen auf die Resultate untersucht werden. Dies wird anhand von Beispielen gezeigt.

Markus Perk (Institut für Geophysik & Meteorologie, Universität zu Köln), Bülent Tezkan, Hans-Georg Sobisch

## **In-Field Kalibrierung geophysikalischer Daten auf kontaminierten Flächen mit Hilfe des GIS-gestützten Visualisierungswerkzeugs GSI3D**

Email: perk@geo.uni-koeln.de

Im Rahmen des 5. europäischen Rahmenprogramms wurde im NORISC-Projekt (Network Oriented Risk assessment by In-situ Screening of Contaminated sites) die Altlasten-erkundung in urbanen Gebieten bearbeitet. Das Ziel dieses Projektes war es, die bisherigen standardmäßigen Untersuchungen durch eine Mischung von innovativen und interdisziplinären Methoden erheblich zu beschleunigen und durch eine Vor-Ort-Interpretation der Messergebnisse die Kosten zur Untersuchung der Fläche drastisch zu senken.

Eines der Entwicklungsschwerpunkte dieses Projektes war die Erstellung eines Visualisierungswerkzeugs (GSI3D 'Geological Surveying and Investigation in 3D'), mit dem man alle im Feld gesammelten Daten (Biologie, Chemie, Geologie, Geophysik) in einem gemeinsamen Kontext räumlich dargestellt werden können. So konnte schon während der Untersuchung dank der kombinierten Darstellung aller Ergebnisse auf unerwartete Ereignisse schnell und flexibel reagiert werden.

Da während des Projektes geophysikalische Daten nur im Bild- oder Raster-Format dargestellt werden konnten, wurde das GIS-Programm dahingehend erweitert, dass Routinen zur Bearbeitung von DC- (Günther, 2004), RMT- und TEM-Daten implementiert wurden, um vor Ort die Daten anhand vorhandener a-priori Informationen kalibrieren zu können. Durch anschließenden Vergleich mit Referenzprofilen sollen so anomale Bereiche effizient ermittelt und daraufhin schwerpunktmäßig chemisch beprobt werden.

Während des Projektes wurden Test-messungen auf mehreren Altlasten von Firmen durchgeführt und nach Abschluss der Erweiterung des GIS-Programms mit den neuen Modulen nachbearbeitet.

Auf den untersuchten Testflächen konnten Kontaminanten direkt und/oder mittels Strukturerkundung der Geologie lokalisiert werden. Dabei war in einem Fall eine hohe Konzentration von Kohlenwasserstoffen als Schwellenwert für erhöhte elektrische Widerstände anzusehen, in einem zweiten Fall war die Kohlenwasserstoffkonzentration zu niedrig, um direkte Auswirkung auf die Widerstände zu haben. Jedoch wurden lokalisierte Tone als Speicher der KW als Quelle der Kontamination identifiziert. Im Falle einer hohen Schwermetall-Kontamination waren wiederum Tone als Speichermedium gefunden worden, wobei diese erst ab einer bestimmten Mächtigkeit in den Widerstandsmodellen erkennbar wa-

ren. Die Schwermetalle an sich zeigten keine Auswirkungen auf die Daten.

Die Erweiterung des Programms GSI3D auf geophysikalische Komponenten erlaubt nun eine Kalibrierung geophysikalischer Daten im Feld, wodurch Daten schneller interpretiert werden können. Durch Vergleich mit Referenz-Profilen können anomale und möglicherweise kontaminierte Bereiche identifiziert und anschließend gezielt chemisch beprobt werden.

Referenzen: - Günther, Thomas: DC2dInvRes; <http://www.resistivity.net/dc2dinvres/> - NORISC Homepage: [www.norisc.com](http://www.norisc.com) - GSI3D Homepage: [www.geosum3d.de](http://www.geosum3d.de)

Hansruedi Maurer (Institut für Geophysik, ETH Zürich) , Alan Green , Tom Spillmann , Bjoern Heincke , Heike Willenberg

## Geophysical investigations of an unstable rock slope

Email: maurer@aug.ig.erdw.ethz.ch

Unstable slopes are an increasing concern in mountainous regions worldwide. Significant expansion of human habitats and transport routes in mountain valleys, melting of alpine permafrost as a consequence of global warming, and exceptional climatic events are amplifying the risks of catastrophic mountain-slope failures. To minimize the effects of such failures, short-term predictions are required for the timely evacuation of vulnerable populations, and medium term forecasts are needed for the optimum design and construction of barriers that protect lifelines (e.g., roads, railways, and pipelines) and other expensive infrastructure. Moreover, long-term hazard assessments are necessary for prudent land-use planning. These tasks require detailed information on the extent and probable behavior of unstable rock. In this context, the locations and geometries of major fractures and faults are particularly important. Investigations of potentially unstable mountain slopes typically involve geologic mapping, strain measurements, remote sensing, and analyses of borehole logs. Since these methods provide only limited knowledge on the depth distribution of critical structures, there is a growing awareness that geophysical techniques should play a role in such studies. We demonstrate the utility of seismic tomography, surface and borehole ground-penetrating radar (georadar), and microseismicity studies for assessing the stability of mountain slopes. Our study site lies above the scarp of a major rockslide that occurred in 1991 near the village of Randa in the western Swiss Alps. Geodetic monitoring during the past 15 years indicated that a relatively large volume is still moving and may lead to further rockslides. By means of a 3D refraction tomography experiment we identified a conspicuous low velocity zone, which is indicative for a strongly fractured rock mass. It likely represents an unstable zone. The tomographic results also indicated that its volume may be larger than predicted by the sparse geodetic network. More detailed information on the potentially unstable zone could be extracted from georadar data. With a surface-based 3D experiment we could characterize the geometry of individual fractures. Additionally, single hole reflection measurements were performed with borehole antennas. Such measurements proved to be particularly useful for imaging near-vertical structures. Combination of the georadar results with those from various other borehole measurements and surface geological mapping allowed the entire fracture network

of the potentially unstable zone to be delineated reliably. More insights on the kinematic and dynamic behavior of the potentially unstable rock slope were extracted from microseismic data that were recorded with a 12-station monitoring array. The velocity model obtained from the 3D refraction experiment and a grid search hypocenter location technique allowed a spatial probability density function of the seismic activity to be computed. It indicated that the highest activity lies near to the scarp of the 1991 rockslide.

Karin Marschall (Leipzig / Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ) , Steffen Linder , Ed Reboulet , Markus Hirsch , Hendrik Paasche , Dietrich Peter

## **Kombination von seismischen und geoelektrischen Oberflächenmessungen mit CPT-Untersuchungen zur Baugrunderkundung**

Email: Karin.Marschall@ufz.de

Die Zunahme der Mobilität der Bevölkerung und daraus resultierende gestiegene Anforderungen an die Belastbarkeit von Transportwegen zwingen zu immer mehr Aufwendungen für Infrastrukturmaßnahmen. Eine wesentliche Voraussetzung sowohl für den Neubau als auch für die Rekonstruktion von Transportsystemen ist eine detaillierte Kenntnis des Baugrundes einschließlich der bisherigen Belastungsgeschichte und den damit verbundenen bodenmechanischen Effekten (z.B. Konsolidation, Kriechen, Alterung). Eines der wichtigsten Aufgabengebiete der Geotechnik ist die Vorhersage von Verformungen im Baugrund, wofür immer die Kenntnis der Baugrundsteifigkeit benötigt wird. In der überwiegenden Zahl der Bauvorhaben werden zur Beschreibung der Stoffparameter der Gesteine oder des Baugrundes Tabellenwerte herangezogen, lokale Tests (z.B. Drucksondierungen und Plattendruckversuche) durchgeführt bzw. Kennwerte in Laborversuchen ermittelt. Diese Herangehensweisen bergen erhebliche Risiken bzw. Unsicherheiten, da zum einen Tabellenwerte im allgemeinen für homogene Gesteine oder Sedimente gelten, der Baugrund aber meist extrem heterogen ist und zum anderen die kleinräumigen Tests bzw. Probennahmen für Laborversuche nur einen sehr begrenzten Raum des Bodens erfassen können. Zusätzlich steht das Problem der Untersuchung ungestörter Proben, welches in vielen Fällen nicht befriedigend gelöst werden kann. Eine Alternative bzw. Ergänzung für eine räumlich kontinuierliche Erkundung sind geophysikalische Verfahren. Auf Grund physikalischer Zusammenhänge eignen sich insbesondere seismische Verfahren zur Baugrunderkundung. Um die best mögliche geotechnische Erkundung eines Baugrundes zu erreichen, sollten die seismischen Messungen mit lokalen geotechnischen Verfahren kombiniert werden.

In unserem Beitrag werden wir auf die Möglichkeiten der Verwendung geophysikalischer Verfahren zur geotechnischen Charakterisierung des Untergrundes eingehen. Die Grundidee unseres Vorgehens ist dabei die gemeinsame Anwendung seismischer, geoelektrischer und geotechnischer Methoden zur Baugrunderkundung. Die seismischen Verfahren, insbesondere Oberflächenwellenseismik, sollen dabei zur effektiven und zuverlässigen Abbildung der Untergrundstrukturen eingesetzt werden. Ziel ist eine räumliche Auflösung im Bereich von Dezi-

metern bis Metern und eine für geotechnische Belange ausreichende Genauigkeit bei der räumlichen Abschätzung geotechnischer Bodenparameter (z.B. Steifigkeit).

Im Rahmen unserer Präsentation werden wir erste Ergebnisse seismischer und geoelektrischer Untersuchungen über einem mehrere Meter mächtigem Lockersediment vorstellen. Der ausgewählte Teststandort ist durch Rinnenstrukturen aus unterschiedlichem Material und Festigkeiten sowie einem Grundwasserstand von ca. 3 m unter GOK gekennzeichnet. Zusätzlich zu den oberflächenbasierten geophysikalischen Verfahren werden wir erste Ergebnisse von direct-push basierten VSP- und CPT-Messungen an diesem Standort zeigen und sie im Zusammenhang mit den seismischen und geoelektrischen Messungen analysieren.

Christiane Trela (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung), Ernst Niederleithinger

## **Geophysikalische Untersuchungen zur Zustandsbewertung einer historischen Mauerwerksbrücke in Polen**

Email: ctrela@web.de

Die Mehrzahl europäischer Eisenbahnbrücken ist über 40 Jahre alt. Auch 100 oder gar 150 Jahre alte Brücken sind keine Seltenheit. Diese Brücken gilt es in der Mehrzahl zu erhalten und für erhöhte Zugfrequenzen, Achslasten und Geschwindigkeiten zu ertüchtigen. Hierfür die Grundlagen zu schaffen, ist Ziel des europäischen Forschungsprojektes Sustainable Bridges. Nicht selten aber fehlen Baupläne und Zustandsdaten als Bewertungsgrundlage für die verantwortlichen Brückeningenieure. Angepasst an die jeweilige Fragestellung können aus einer Kombination von zerstörenden (ZP), minimalinvasiven und zerstörungsfreien Prüfverfahren (ZfP) die entsprechenden Informationen über den Aufbau und den Zustand der Brücke gewonnen werden. Anhand einer Eisenbahnbrücke in Olesnica wird gezeigt, welchen Beitrag Radarreflexionsmessungen und die Methode der Spektralen Induzierten Polarisation (SIP) unterstützt von Kernbohrungen und materialkundlichen Laboruntersuchungen dazu leisten können. Die geometrische Dimension der Brücke lässt sich aufgrund der starken Absorption der elektromagnetischen Wellen im Ziegelmauerwerk mit den ausgewählten Radarantennen 500 MHz, 900 MHz und 1,5 GHz nur bedingt feststellen. Der Verlauf der ersten Mauerwerkslage lässt sich gut ermitteln, wohingegen die Rückwände nicht zuverlässig detektiert werden konnten. Messungen von der Brücke aus lassen auf Mauerwerksdicken im Bereich der Widerlager von mehr als 3 m schließen. Die Wandstärken wurden stellenweise an entnommenen Bohrkernen verifiziert. Die Brücke ist eine Mauerwerkskonstruktion und massiver als erwartet. Erfolgreicher erwiesen sich beide ZfP-Verfahren bei der Bestimmung der Riss- und Feuchtigkeitsverteilung im Mauerwerk, welche durch Feuchtigkeitsbestimmungen an den Bohrkernen quantifiziert werden konnte. Diese Lokalisierung der Verteilung der Feuchtigkeit im Mauerwerk ist für die Brückenzustandsbewertung wichtig, weil langanhaltende starke Durchfeuchtung der Ziegelsteine zu seiner Zersetzung, zum Beispiel durch Frost-Tau-Wechsel führen können und damit zu einer Verminderung der Festigkeitswerte. Sanierungsmaßnahmen können unter Umständen dann ganz lokal und damit kostengünstiger durchgeführt werden. Die Radaruntersuchungen wurden zum Teil mit einem Baustellenscanner ausgeführt, der eine automatisierte geometrisch exakt zuzuordnende Datenaufnahme von einem Messfeld mit vertikalen und horizontalen Profilen ermöglicht.

Sichtbare, offene Risse an der Mauerwerksoberfläche von mehreren Millimetern bis zu einem Zentimeter verlaufen in der Regel entlang der Mörtelfugen und lassen sich zum Teil in die Mauer mit Radar und SIP hinein verfolgen.



Sven Uchtmann (GGA-Institut Hannover)

## **Strukturerkundung in einem Salzbergwerk mit dem Georadar**

Email: sven.uchtmann@gga-hannover.de

Das Georadar (GPR) wird schon seit Anfang der 70er-Jahre zur zerstörungsfreien Erkundung des Salzgebirges angewendet (THIERBACH 1974). Das Verfahren eignet sich insbesondere für trockenes Salzgestein, das sich durch hohe elektrische Widerstände auszeichnet. Unter solch günstigen Bedingungen können Eindringtiefen von bis zu mehreren 100 m erzielt werden.

Das ungestörte Salinar ist aufgrund der natürlichen Barrierewirkung des Salzes prinzipiell für die Deponierung toxischer Abfälle geeignet. Klüfte, Schichtgrenzen und bergbaulich bedingte Auflockerungszonen können diese geologische Barriere jedoch beeinträchtigen, da sie eine Migration von Salzlösungsvorkommen begünstigen. Mit dem Vorkommen solcher Migrationswege ist die langfristige Trennung der abgelagerten Abfälle von den umgebenden Gesteinen nicht gewährleistet. Um das Salzgestein zerstörungsfrei auf mögliche Problembereiche zu untersuchen, können geophysikalische Methoden angewendet werden. Die hier vorgestellten Messungen sind Teil des vom BMBF geförderten Verbundprojektes „Universelles integriertes Mess- und Auswerteeinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar“ (FKZ: 02C1305, 02C1315, 02C1325). Als ein Messstandort des Projektes wurde das ehemalige Kalibergwerk Sollstedt (Südharz) ausgewählt. Die Messstrecke liegt im Staßfurt-Steinsalz (Na<sub>2</sub>) an einer Basalanhydritaufsattelung (A2). Aus dem Basalanhydrit und dem darunterliegenden Hauptdolomit (Ca<sub>2</sub>) ist aus Bohrungen ein Salzlösungsvorkommen bekannt.

Im Gegensatz zum überragigen Einsatz des Georadars müssen bei Messungen Untertage, insbesondere bei nicht abgeschirmten Antennen, die Vollraumbedingungen berücksichtigt werden. Um die räumliche Lage von Reflektoren zu bestimmen, wurden deshalb zusätzlich zur Kartierung spezielle Rundum- und Peilmessungen durchgeführt. In den Messergebnissen zeigen sich deutliche Reflektoren aus verschiedenen Raumrichtungen, die einerseits durch geologische Schichtgrenzen aber auch durch künstliche Strukturen wie z.B. Strecken hervorgerufen werden.

THIERBACH, R.: *Electromagnetic Reflections in Salt Deposits*, J. Geophys. 40, pp. 633-637, 1974.

Anita Just (Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie), Carsten Rucker, Ulrich Serfling, Claudia Schütze, Franz Jacobs

## Geoelektrische Messungen (DC) zur Strukturerkundung in einem Salzbergwerk

Email: [ajust@rz.uni-leipzig.de](mailto:ajust@rz.uni-leipzig.de)

Aufgrund seiner geringen Permeabilität eignet sich Salzgestein gut als Wirtsgestein (geologische Barriere) für Untertagedeponien und Endlager. Die Barrierewirksamkeit kann jedoch durch Problemzonen wie z. B. tektonische Störungszonen, Kluftzonen, Schichtgrenzen und bergbaulich bedingte Auflockerungszonen beeinträchtigt werden. Insbesondere ist sie durch Salzlösungsvorkommen in Bereichen erhöhter hydraulischer Leitfähigkeit, z. B. infolge von Klüften, gefährdet. Ihrer zerstörungsfreien Erkundung durch die Geophysik kommt daher eine große Bedeutung zu.

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Verbundprojektes „Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswerteinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar“ (Fkz.: 02C1305, 02C1315, 02C1325) wird der kombinierte Einsatz verschiedener geophysikalischer Verfahren mit unterschiedlichen physikalischen Wechselwirkungsmechanismen für den untertägigen Einsatz erprobt und optimiert. Die DC-Geoelektrik ist dabei insbesondere bei der Detektion von streckennahen Feuchtezonen ein geeignetes Verfahren, da der spezifische elektrische Widerstand in Abhängigkeit vom Wassergehalt über mehrere Größenordnungen variiert.

Als ein Referenzstandort wurde eine Strecke im ehemaligen Bergwerk Sollstedt (Südharz/ Thüringen, Betreiber: GVV Sondershausen) ausgewählt. Dort werden u.a. in der Umgebung der ehemaligen Hauptförderstrecke, die in einer Tiefe von ca. 350 m unter NN im Staßfurtsteinsalz verläuft, im Liegenden Basalanhydrit und Hauptdolomit Salzlösungsvorkommen vermutet. Nach einer Georadar-Vorerkundung durch das GGA-Institut Hannover wurde ein gemeinsames, 400 m langes Referenzprofil in der Nähe einer Anhydrit-Aufsattelung festgelegt.

Die Geoelektrikmessungen erfolgten auf der Sohle der Strecke in 3 überlappenden Teilprofilen à 190 m mit einer mehrkanaligen geoelektrischen Multielektroden-Apparatur RESECS (GeoServe Kiel). Gleichzeitige Spannungsregistrierungen mit Transientenrekordern RefTek Texan125 (Refraction Technology, USA) ergänzten die Messungen. Die Ergebnisse der Messungen zeigen im östlichen Profilbereich ab etwa 5 m Tiefe generell sehr hohe spezifische Widerstände ( $>10^6 \Omega\text{m}$ ), so dass dort das Vorhandensein laugenführender Bereiche ausgeschlossen werden kann. Die ober-

flächennahen etwas niedrigeren Widerstände dürften auf die (feuchtere) Sohlenaufschüttung zurückzuführen sein. Drei Bereiche mit maximaler Amplitude decken sich mit der Lage von streckennahen Hohlräumen. Im westlichen Profilbereich treten zwei deutliche niederohmige Anomalien (ca.  $10^4 \Omega\text{m}$ ) auf, die auf laugenführende Bereiche hindeuten. Noch weiter westlich folgt ein sehr hochohmiger Bereich, der mit einer aufgelockerten Bruchzone erklärt werden kann.

Die aufgefundenen Anomalien korrelieren deutlich mit Ergebnissen der anderen eingesetzten geophysikalischen Verfahren (Radar, Elektromagnetik: GGA Hannover, Sonar: Fraunhofer-IZFP Dresden, Seismik: K-UTEC Sondershausen GmbH und Universität Leipzig). So treten im Bereich der hochohmigen Anomalie markante Reflektoren von Sonar und Seismik auf. In den niederohmigen Bereichen zeigen sich klar erhöhte Sonar-Reflektivitäten. Eine mögliche Interpretation ist das Vorhandensein einer trockenen, gasführenden Beanspruchungszone im Anhydrit, die von einer benachbarten aufgelockerten und laugenführenden Zone begleitet wird und durch hohen Druck des eingeschlossenen Gases gegen diese abgedichtet ist.

Susanne Wölz (Institut f. Geowissenschaften, Universität Kiel) , Christof Müller , Dennis Wilken , Wolfgang Rabbel

## **FINOSEIS - Vorerkundung und Monitoring des Baugrunds an der neuen Forschungsplattform FINO3 (Nordsee)**

Email: swoelz@geophysik.uni-kiel.de

Das FINOSEIS-Projekt dient der Technologieentwicklung für die Vor- und Nacherkundung des Baugrunds von Offshore-Bauwerken mit 3D-Reflexionsseismik, Scher- und Kompressions-Wellen-Tomographie zur Quantifizierung des Gefahrenpotentials infolge von Strukturveränderungen im Boden. Es ist eingebettet in das FINO3-Projekt, dessen Inhalt die Konzeption, Errichtung und der Betrieb einer Forschungsplattform in der Nordsee ist. Auf dieser Plattform werden sieben Forschungs- und Technologieprojekte verschiedener Hochschulen und Unternehmen durchgeführt.

Das Projekt wird vom BMU, KERN Regionalprogramm und dem Land Schleswig-Holstein finanziert.

Die durch Strömung, Wellenschlag und Winddruck angeregten Schwingungen können in der unmittelbaren Umgebung des Offshore-Bauwerks Veränderungen der Sedimentstruktur und deren mechanischen Eigenschaften erzeugen. Dazu zählen Kolkbildung und zyklische Entfestigung, die bis zur Bodenverflüssigung führen kann. Zur Überwachung von Veränderungen des Baugrunds von Offshore-Windenergieanlagen wird im FINOSEIS-Projekt ein seismisches Messprogramm entwickelt und durchgeführt.

Ziel dieses Vorhabens ist es, die zeitliche Entwicklung und räumliche Ausdehnung der genannten Effekte in der näheren Umgebung des Bauwerks mit seismischen Methoden zu quantifizieren.

Im Mai 2006 erfolgten seismische Messungen zur Voruntersuchung des möglichen Standorts der FINO3-Plattform.

Um die Sedimentstruktur zu erhalten, wurde hochauflösende Reflexionsseismik mit einer Boomerquelle und einem Einkanal-Streamer auf einer Fläche von 4qkm mit einem dichten Profilvernetz durchgeführt.

Die oberflächennahe Scherwellengeschwindigkeitsverteilung kann durch Ausnutzung der dispersiven Eigenschaften von Scholtewellen ermittelt werden. Diese wurden mit einem tieffrequenten Airgunsystem und zwei OBS entlang von drei Profilen im gleichen Gebiet aufgezeichnet. Die invertierten Scherwellengeschwindigkeiten sollen dann zur Scherfestigkeit des Bodens in Beziehung gesetzt werden.

Die Ergebnisse der Reflexionsseismik führten u.a. zu einem Standort-Vorschlag für die geplante Forschungsplattform und lieferten Parameter für das

Startmodell der Scholtewellen-Inversion. Die Scholtewellenmessung ergab Informationen zum Frequenzinhalt der Scholtewellen im dort vorherrschenden Untergrundmaterial und grenzt Startmodelle für die tomographische Inversionen im Plattformbereich ein.

Katrin Jaksch (GeoForschungsZentrum Potsdam) , Rüdiger Giese , Stefan Lüth

## Hochauflösende seismische Messungen an Lehmdeichen

Email: [kawi@gfz-potsdam.de](mailto:kawi@gfz-potsdam.de)

Hochauflösende seismische Messungen an Lehmdeichen

Katrin Jaksch, Rüdiger Giese, Stefan Lüth

Innerhalb des BMBF-Projektes "Versagen von Deichen und Dämmen auf und mit Lehmzonen bei Hochwasser" wurden an der Universität Karlsruhe geotechnische und geophysikalische Untersuchungen an Modelldeichen in Zusammenarbeit mit dem Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG) und dem Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik (IBF) durchgeführt. Der vom GFZ Potsdam durchgeführte geophysikalische Teil dieses Projektes untersucht, inwieweit mit seismischen hochauflösenden Messungen die Durchfeuchtung eines Deiches abgebildet werden kann. Ziel ist es, anhand der seismischen Messungen die Durchfeuchtungsbereiche eines Deiches während eines Hochwassers zu erkennen und daraus die Versagenswahrscheinlichkeit des Deiches bestimmen zu können. Dazu sollen die Strukturen im Deichkörper hinsichtlich ihrer Materialien und deren Bodenparameter, wie Wassergehalt und Porosität, bestimmt werden.

Um eine hohe Auflösung zu erhalten, wurde als seismische Quelle ein magnetostriktiver Vibrator verwendet, der Sweeps von 300 bis 6300 Hz an den zwei Modelldeichen anregte. Das Schuss- und Empfängerarray bestand jeweils aus drei Messlinien mit insgesamt 63 eingebauten 3-Komponenten-Geophonköpfen. Die Schüsse jeder Messlinie wurden von allen 3-Komponenten-Empfängern registriert, wodurch ein 3D-Messfeld entsteht. Insgesamt konnten abhängig von der Wasserstandshöhe maximal 54 Quellpunkte auf dem Deich je Messdurchgang gemessen werden.

Die seismischen Messungen an den Modelldeichen zeigen ein komplexes Wellenfeld, das von direkten P-Wellen, Oberflächenwellen sowie refraktierten Wellen an den Modellgrenzen dominiert wird. Die Frequenzen der direkten P-Wellen liegen im offsetnahen Bereich bis circa einen Meter bei bis zu 3000 Hz und fallen darüber hinaus schnell auf circa 700 bis 900 Hz ab. Die Oberflächenwellen zeigen über den gesamten Offsetbereich Frequenzen von 300 bis 400 Hz. Im Nahbereich der Quelle wird das gesamte angeregte Frequenzspektrum in den Boden eingebracht.

Seismische Messungen bei hohen Wasserständen und starker Durchfeuchtung des Deiches zeigen eine deutliche Dämpfung der Signale in Bereichen des Deiches mit hoher Durchfeuchtung. Ein Vergleich der Ersteinsatzzeiten zeigt zudem, dass diese besonders bei den refraktierten Wellen zunehmen und somit auf eine Abnahme

der P-Wellengeschwindigkeiten mit zunehmender Durchfeuchtung des Deiches hinweisen.

Für verschiedene Durchfeuchtungsstadien des Deiches wurden seismische Laufzeit-Tomographien erstellt. Für den trockenen Deichzustand zeigt die Tomographie einen heterogenen Zustand des Deiches mit einer mit der Tiefe zunehmenden P-Wellengeschwindigkeit. Bei den hochwasserbelasteten Deichen lassen sich in den Laufzeit-Tomographien anhand einer Abnahme der P-Wellengeschwindigkeiten die durchfeuchteten Deichbereiche abbilden. Bei Ultraschallmessungen an Lehmproben wurden ebenfalls mit zunehmender Durchfeuchtung abnehmende P-Wellengeschwindigkeiten beobachtet.

Das mit einem magnetostriktiven Vibrator als seismischer Quelle durchgeführte seismische Monitoring an lehmigen Modelldeichen und deren Auswertung hat gezeigt, dass die Durchfeuchtungsbereiche des Deiches bei verschiedenen Hochwasserzuständen aufgelöst werden können.

W. Rühaak (Leibniz Institute for Applied Geosciences (GGA)), T. Günther, L. Gorling, R. Schulz

## **Integration of geophysical data into a three-dimensional geometrical model**

Email: [w.ruehaak@gga-hannover.de](mailto:w.ruehaak@gga-hannover.de)

A 3-d subsurface GOCAD model has been developed for an industrial area near Wolfsburg (Lower Saxony, Germany) in a joint project of the GGA-Institute, the State Authority for Mining, Energy and Geology (LBEG), and Volkswagen AG who provided geological and geophysical data. The investigation area is 7.5 km x 10 km. Only Quaternary glacial and fluvial sediments and the underlying Mesozoic (Lias mudstone, Early Jurassic) are considered. Hence the maximum depth of investigation amounts up to ca. 100 m. One aim of the project is to build up the model with geophysical data, besides the use of stratigraphic information from drillings. Seismic profiles, resistivity measurements with multi-electrodes arrays and gravity data are available from measuring campaigns. We have integrated these data in two different ways:

1. The interpreted seismic profiles are included as 3-d lines into the model. Common interpolation methods give weak results when 1-d borehole-data are processed together with 3-d lines. To circumvent this shortcoming we have applied a conditional sequential Gaussian simulation. Variogram analysis shows, that the seismic lines give significant better spatial information, compared to borehole data. The resulting surfaces therefore reflect the variability of the subsurface in a more realistic way.
2. The available potential-data have a spatial resolution which is mainly not sufficient for a direct integration into the subsurface model. However, these data are valuable, as they can be used for a validation. This is achieved by subsequent forward calculations based on the existing geometric model.

First results show that this approach is an efficient way to minimize uncertainties, especially regarding the lateral geometry of the glacial units.

Klaus Lippert (Institut für Geophysik und Meteorologie, Universität zu Köln) , Bülent Tezkan , Peter Fischer

## Anwendung geophysikalischer Methoden auf geomorphologische Fragestellungen

Email: klaus\_lip@yahoo.de

Im Rahmen der vorgestellten Arbeit wird die Anwendung der Gleichstrom-Geoelektrik und der Radiomagnetotellurik zur Beantwortung bestimmter geomorphologischer Fragestellungen dargelegt und diskutiert. Die geophysikalischen Methoden wurden an bereits erbohrten und geomorphologisch-pedologisch interpretierten Profilen auf ihre Anwendbarkeit überprüft und kalibriert. Besonders in Gebieten, denen es an großen Aufschlüssen zur Rekonstruktion der Landschaftsentwicklung fehlt, können über diese geophysikalischen Methoden Lagerungsverhältnisse der Sedimente und gegebenenfalls Sedimentfallen, die terrestrische Archive des quartären Landschaftswandels darstellen, erschlossen bzw. ausgewiesen werden. Neben dem zerstörungsfreien Arbeiten dieser Methoden im Vergleich zu Rammkernsondierungen ist damit auch die Möglichkeit gegeben, unter großer Zeitersparnis neue, viel versprechende Bohrpunkte festzulegen. Das Untersuchungsgebiet stellt einen Ausschnitt der zentralen Niederrheinischen Bucht nordwestlich von Köln dar. Es ist gekennzeichnet durch den Übergang von der Niederterrasse zu den lössbedeckten Mittelterrassen des Rheins. Der Bereich der Mittelterrassen wird durch mehrere Täler, eingestellt auf das Niveau der Niederterrasse, zergliedert. Aus den bereits durchgeführten geomorphologisch-pedologischen Untersuchungen im Rahmen einer laufenden Dissertation in der Abteilung für Angewandte Geomorphologie und Landschaftsforschung des Geographischen Instituts der Universität zu Köln haben sich verschiedene Fragestellungen entwickelt. Über die Erfassung der Quartärbasis und der Lössbasis lassen sich Aussagen über Verbreitung und Stratigraphie der Mittelterrassen treffen. Die partielle Ablagerung mächtiger Lössse und Lössderivate im Lee der Terrassenstufen täuscht einerseits das Vorhandensein solcher Stufen vor, andererseits werden existierende Stufen verkleidet, so dass eine Kartierung über die aktuelle Morphologie nicht durchführbar ist. Mit Anwendung der vorgestellten geophysikalischen Methoden lässt sich bei überschaubarem Zeit- und Arbeitsaufwand eine flächenhafte Kartierung von Quartär- und Lössbasis durchführen. Die Profile wurden sowohl mit Multi-Elektroden Geoelektrik als auch mit der neuen 4-Kanal Radiomagnetotellurik-Apparatur des Instituts für Geophysik und Meteorologie gemessen. Mit der Geoelektrik wurden drei Profile mit einer Gesamtprofillänge von 750m gemessen, mit der Radiomagnetotellurik waren es fünf Profile mit insgesamt 230 Messpunkten und einer Gesamtprofillänge von 4,4km. Aufgezeichnet wurde der Fre-

quenzbereich von 10kHz bis 1MHz. Außerdem wurde zur Kalibrierung eine Leitfähigkeitsmessung an frischen Bohrkernen durchgeführt. Die Messdaten beider Methoden wurden sowohl 1D, als auch 2D invertiert und mit vorhandenen Bohrungen verglichen. Dabei zeigt sich, dass eine Annäherung in den hier vorhandenen Lockersedimenten an die gegebene geomorphologische Fragestellung mit beiden Methoden möglich ist. Die bereits gebohrten Profile konnten bestätigt werden und in noch nicht kartierten Bereichen im Untersuchungsgebiet wurden die Lagerungsverhältnisse der Sedimente erfasst und stellen eine sehr viel versprechende und hilfreiche Methodik zur Ausweisung von landschaftsgenetisch relevanten Archiven dar.

Hauke Petersen (Institut für Geowissenschaften, Universität Kiel) , Wolfgang Rabbel

## **Multisensorische Untersuchungen zum Nachweis von flächenhaften Bodenverdichtungen**

Email: [hpetersen@geophysik.uni-kiel.de](mailto:hpetersen@geophysik.uni-kiel.de)

Steigender Kostendruck in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion macht den Einsatz schwerer Geräte auf Ackerflächen notwendig. Der Einsatz dieser Geräte bei ungünstigen Bodenverhältnissen kann zu Bodenverdichtungen sowohl im Ober- als auch im Unterbodenbereich führen. Besonders Verdichtungen im Unterboden (unterhalb des Bearbeitungshorizonts) erweisen sich als nachhaltig und können Bodenfunktionen wie Transport-, Speicher- und Filtereigenschaften wesentlich beeinflussen. Als Folgen werden Ertragseinbußen durch beeinträchtigtes Pflanzenwachstum, aber auch erhöhte Boden-erosion durch verstärkten Oberflächenwasserabfluss und vermehrte Einträge von Nährstoffen und Pflanzenschutzmitteln in die Oberflächengewässer beobachtet.

Aufgrund der Nachhaltigkeit der Auswirkungen sind Informationen über den Verbreitungsgrad von bereits existierenden Bodenverdichtungen und über die Verdichtungsgefährdung von Böden von besonderem Interesse.

In diesem Zusammenhang wird hier ein Verbundprojekt zwischen den Fachbereichen Bodenkunde und Geophysik (beide Universität Kiel) und der Landtechnik der FH Südwestfalen, Soest, vorgestellt, welches sich mit der Entstehung, den Auswirkungen und dem Nachweis von Bodenverdichtungen beschäftigt. Dazu werden auf verschiedenen Standorten mit unterschiedlichen Böden (Löß, Jungmoräne) und unter Berücksichtigung unterschiedlicher Bewirtschaftungsweisen (pfluglos, pflügend) mehrjährige Feldversuche durchgeführt. Im Rahmen dieser Versuche werden Versuchspartellen mit variierenden Lasten ein bis zweimal jährlich befahren. Jeweils vorher und nachher finden bodenkundliche und geophysikalische Untersuchungen statt, um eventuelle Änderungen im Boden zu dokumentieren. Die fachübergreifende Interpretation der Ergebnisse soll schließlich Aussagen zur flächenhaften Verbreitung von Bodenverdichtungen ermöglichen und Grundlagen schaffen, um Handlungsempfehlungen zur Vermeidung von Bodenverdichtungen zu erarbeiten. Gefördert wird das Vorhaben dabei aus Mitteln des BMVEL über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE).

Der geophysikalische Beitrag zu diesem Projekt besteht unter anderem in der großflächigen Kartierung der Versuchsfelder mit EM38DD, Georadar und Gammaskpektrometer. Dabei dient die Kartierung der scheinbaren Leitfähigkeiten ECa zur Identifizierung variierender Bodensubstrate, während über das Georadar eine eventuelle Änderung der hydrau-

lischen Eigenschaften im Boden (Bildung von Stauwasserbereichen) dokumentiert werden soll. Mit der Gammaskpektrometrie kommt ein drittes Verfahren zur Anwendung, um durch eine zusätzliche und unabhängige Information zum Tongehalt im Oberboden den Fluideinfluss bei den Ergebnissen von EM und Georadar wesentlich zuverlässiger quantifizieren zu können.

Dieser Tagungsbeitrag gibt einen Überblick über die Versuchskonzepte und zeigt einige Ergebnisse der geophysikalischen Messungen nach Abschluss der ersten Projektphase.

Hui Fricke (GSF-Forschungsbergwerk Asse)

## Neue Instrumentierung zur mikroseismischen Überwachung auf der Schachanlage Asse II

Email: hui.fricke@gsf.de

### Zusammenfassung

Im ehemaligen niedersächsischen Salzbergwerk Asse II wurde im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten schwach- und mittelradioaktiver Abfall von 1967 bis 1978 eingelagert. Nach der Beendigung der Forschungsarbeiten wurden die Hohlräume mit Rückstandsanz aus dem Kalibergbau verfüllt. Es ist zudem geplant, eine Magnesiumchloridlösung als Schutzfluid vor der endgültigen Schließung im Jahr 2017 in das Grubengebäude einzuleiten, um einen möglichen Umlösungsprozess im Grubengebäude und eine folglich Entfestigung des Tragsystems innerhalb des Grubengebäudes zu minimieren. Dabei muss die Betriebssicherheit bis zum Ende der Betriebsphase weiterhin sicher gewährleistet sein und überwacht werden. Für den anschließenden Betrieb im Schutzfluid wurden druckfeste und laugendichte 3-Komponenten-Geophon-Sonden neu konstruiert und gebaut. Zur Gewährleistung einer hohen Betriebsbereitschaft der Gesamtanlage und der Datenqualität ist die neue Instrumentierung nur sukzessive umsetzbar. Bisher wurde ca. die Hälfte der bestehenden alten mikroseismischen Stationen durch neue Sonden ersetzt. Einige wurden parallel zu den alten Stationen integriert. Die neuen Sonden registrieren äquivalent und ebenfalls zuverlässig die mikroseismische Aktivität im Grubengebäude und in dessen näherer Umgebung, bis zu einigen hundert Metern Entfernung. Die Auswertung beinhaltet die Lokalisierung, Analyse und Interpretation der mikroseismischen Ereignisse. Die Ergebnisse zeigen die Auflockerungszone und die stabilisierende Wirkung der Verfüllmaßnahmen deutlich. Im ehemaligen niedersächsischen Salzbergwerk Asse II, wurde von 1967 bis 1978 im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten schwacher und mittelradioaktiver Abfall eingelagert. Nach der Beendigung der Forschungsarbeiten wurden die Hohlräume mit Rückstandsanz aus dem Kalibergbau verfüllt. Es ist geplant, eine Magnesiumchloridlösung als Schutzfluid vor der endgültigen Schließung im Jahr 2017 in das Grubengebäude einzuleiten, um einen möglichen Umlösungsprozess im Grubengebäude und eine folglich Entfestigung des Tragsystems innerhalb des Grubengebäudes zu minimieren. Dabei muss die Betriebssicherheit bis zum Ende der Betriebsphase weiterhin gewährleistet sein und überwacht werden. Weil dadurch ein Betrieb unter Schutzfluid stattfinden wird, wurden druckfeste und laugendichte 3-Komponenten-Geophon-Sonden neu gebaut. Zur Gewährleistung

einer hohen Betriebsbereitschaft der Gesamtanlage und der Datenqualität ist die neue Instrumentierung nur sukzessive durchführbar. Im letzten Jahr wurde ca. die Hälfte der bestehenden alten mikroseismischen Stationen mit neuen Sonden umgerüstet. Manche wurden parallel zu den alten Stationen integriert. Die neuen Sonden registrieren äquivalent und ebenfalls zuverlässig die mikroseismische Aktivität im Grubengebäude und in dessen näherer Umgebung bis zu einigen hundert Metern. Die Auswertung beinhaltet Lokalisierung, Analyse und Interpretation der mikroseismischen Ereignisse. Die Ergebnisse zeigten die Auflockerungszone und die stabilisierende Wirkung der Verfüllmaßnahmen deutlich auf.

### Abstract

The former salt mine Asse II, in the ownership of the GSF-National Research Centre for Environment and Health, is a test disposal facility for low and intermediate level radioactive waste. After the research and development activities were completed, the mine was filled with residual salt material. Microseismic measurements have been performed in the Asse Research Mine since 1980. Until the final closing of the mine, which is expected in 2017, it is planned to fill the mine additionally with magnesium chloride solution. This is necessary to avoid a possible re-liquidating process in larger sizes in the mine which would cause instability of its structural system. To enable that the microseismic monitoring system runs reliably in a salt fluid environment, new three components geophone-probes have been constructed for the ongoing observation of the geomechanical behavior response during the operational phase of the mine. That ensures the work safety in the mine until the final closure. The renewal process has to be performed in stages without any loss of data. Twelve of these new stations, which are about half of the total number of the existing ones, have already been installed during the last year. Some of the new probes operated in parallel to the old stations. The new probes measure the microseismic activities in the mine and its close environment within a few of hundred meters accurately. The evaluation of the data includes source location, analysis and interpretation of the microseismic events. The results show the microcracking activity in the excavation damaged zone and the stabilizing effect of the filling with saline material clearly.



Ulrike Werban (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ) , Ed Reboulet , Katrin Kuka , Ines Merbach

## Geophysikalische Untersuchungen auf dem Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt

Email: [ulrike.werban@ufz.de](mailto:ulrike.werban@ufz.de)

1902 wurde in Bad Lauchstädt (Sachsen-Anhalt) der Statische Düngungsversuch angelegt mit dem Ziel den Einfluss organischer und mineralischer Düngung auf den Ertrag der Kulturpflanzen und die Qualität der Ernteprodukte zu prüfen. Das Versuchsfeld gehört zum Schwarzerdegebiet Sachsen-Anhalts, einem dem Harz südöstlich vorgelagerten Lößgürtel. Der Boden zeichnet sich durch eine hohe Substrathomogenität aus. Der Versuch gliedert sich in 8 Felder, auf denen die Fruchtfolge Zuckerrüben - Sommergerste - Kartoffeln - Winterweizen abläuft. Der erste Prüffaktor des Versuches ist die organische Düngung mit den drei Stufen 30 t/ha, 20 t/ha und ohne Stallmist. Der zweite Prüffaktor ist die mineralische Düngung mit den 6 Stufen NPK, NP, NK, N, PK und 0. Aus der Kombination der beiden Prüffaktoren ergeben sich 18 Varianten. Das Pflanzenwachstum und somit die Erträge gestalten sich auf den Parzellen höchst unterschiedlich. Demnach sind trotz homogenem Ausgangsmaterial Variationen des Bodenwassergehalts, der Ionenkonzentration der Bodenlösung und der organischen Substanz zu erwarten. Diese Heterogenitäten sollen mit Hilfe zerstörungsfreier geophysikalischer Methoden analysiert werden, um Parameterbeziehungen von elektrischen Eigenschaften mit Textur, Wasser- und Salzgehalt und organischer Substanz abzuleiten.

Wir präsentieren erste Ergebnisse der Messungen mit Gleichstrom-Geoelektrik (Wenner-Konfiguration) zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten, im August nach der Ernte des Sommergetreides und im Winter bei nahezu Feldkapazität des Bodens. Die Messungen erfolgten entlang mehrerer Profile mit einer Auslagelänge von bis zu 120 m bei einem Elektrodenabstand von 0,5 m bzw. 1 m. In Ergänzung der geophysikalischen Messungen fanden Bodenwassergehaltmessungen, Wasser- und Bodenprobennahmen sowie geotechnische Untersuchungen (Cone Penetration Testing (CPT) - Messung von Spitzendruck und Mantelreibung) statt. Die Auswertung der gleichstrom-geoelektrischen Messungen zeigt Muster in der Verteilung der oberflächennahen elektrischen Widerstände, die mit den Düngeparzellen korrelieren. Des Weiteren werden Widerstandsanomalien in etwa 2,5 m Tiefe beobachtet, die möglicherweise auf Stickstoffverlagerungen zurückzuführen sind, da auch sie mit der Parzellendüngung korrelieren. Die Messungen mit dem EM38-DD (Geonics) im Januar zeigen ebenfalls unterschiedliche elektrische Leitfähigkeiten in den verschiedenen Düngeparzellen.

Mit Hilfe der verwendeten geophysikalischen Me-

thoden ist es möglich nutzungs- und düngungsbedingte Heterogenitäten auf der Versuchsfläche zu erfassen. Die vorgestellten geophysikalischen Messungen und Vergleiche mit Bodenkennwerten sind die Grundlage weiterer jahreszeitabhängiger Untersuchungen auf dem Versuchsfeld Bad Lauchstädt.

Dennis Wilken (Institut für Geowissenschaften, Universität Kiel) , Christof Müller , Susanne Wölz , Wolfgang Rabbel

## **Numerische Studie zur seismischen Analyse von Kompaktierungszonen am FINO3 Monopile**

Email: [dwilken@geophysik.uni-kiel.de](mailto:dwilken@geophysik.uni-kiel.de)

FINOSEIS ist ein Projekt zur Vor- und Nacherkundung des Baugrundes von Offshore-Bauwerken mit reflexionsseismischen und tomographischen Methoden zur Quantifizierung des Gefahrenpotentials infolge von Strukturveränderungen im Boden. Zur Auflösung solcher Veränderungen wie Kompaktierungszonen, resultierend aus den Umweltbelastungen am Gründungspfahl der Forschungsplattform FINO3, kommen verschiedene seismische Methoden zum Einsatz. Es sollen hierbei eine Scholtewellen Phasenlaufzeit tomographie des nahen Pfahlumfeldes, eine Untersuchung der am Bauwerk laufenden Wellen sowie eine P-Wellen Durchschallungstomographie durchgeführt werden. Hierzu werden in definiertem Abstand um den Pfahl OBS Stationen ausgebracht und am Pfahl mehrere Stahlhalbrohre mit eingelassenen Hydrophonketten angebracht.

Als Voruntersuchung und Studie zu diesen Methoden wurde ein numerisches Experiment in Form von 2D FD Modellierungen durchgeführt. Physikalische Modellparameter wurden den Ergebnissen einer in situ Voruntersuchung im Mai 2006 entnommen. Die Messung beinhaltet eine hochauflösende reflexionsseismische Untersuchung des Gebietes um den künftigen Standort der FINO3 und eine Scholtewellenmessung entlang dreier ausgewählter Profile im Gebiet. Die erhaltenen Schichtmächtigkeiten und Scherwellengeschwindigkeiten wurden den Modellierungen zu Grunde gelegt. In den Modellen wurden Sensorpunkte angesetzt, die einer Hydrophonkette und einem OBS entsprechen. Für unsere Untersuchungen wurden zwei Quellen unterschiedlicher Zentralfrequenz implementiert, um jeweils Boomer- und Airgunquelle zu simulieren. Aufgrund der geringen Mächtigkeit von Pfahlrohr und Halbrohren und einem daraus resultierenden, sehr feinen Modellgitter sind verschiedene vereinfachte Modelle sukzessive genutzt worden, um Eingrenzungen der freien Parameter vornehmen zu können. Die Rechnungen enthielten künstliche Kompaktierungszonen mit verschiedenen lateralen und vertikalen Abmessungen, sowie verschiedenen Gradienten der seismischen Parameter. Am endgültigen Pfahlmodell wurde dann neben dem Gründungspfahl eines der Stahlhalbrohre für die Sensorkette angesetzt. Die bestmöglichen Abmessungen des Halbrohres wurden in einer vorangegangenen numerischen Studie eingegrenzt. Die Auswertung der errechneten Seismogramme zeigt die Grenzen der Sichtbarkeit sol-

cher Kompaktierungszonen für die Methoden des FINOSEIS-Konzeptes.

Martin Geilhausen (Geographisches Institut, Universität Bonn) , Thomas Hoffmann , Christian Hauck

## **Anwendung multipler geophysikalischer Methoden zur Rekonstruktion der Flussgeschichte der Sieg**

Email: [geilhausen@terrestris.de](mailto:geilhausen@terrestris.de)

Flüsse sind hoch dynamische geomorphologische Systeme. Paläo-Mäander, Altarme und Flussterrassen in den Flussauen, den Überschwemmungsgebieten der Flüsse, sind das Ergebnis dieser Dynamik. Die Rekonstruktion der Holozänen fluvialen Dynamik auf unterschiedlichen Raum- und Zeitskalen ist eine zentrale Aufgabe der fluvialen Geomorphologie. Sie erfordert, neben der geomorphologische Kartierung der Erdoberfläche, die Erkundung des oberflächennahen Untergrundes.

Am Beispiel der Siegmündung sollen die Anwendungsmöglichkeiten geophysikalischer Methoden zur Rekonstruktion der Flussverläufe der Sieg diskutiert werden. An 2 Profilen wurden Messungen mit einer 24-Kanal Refraktionsseismik, einer 42 Kanal Geoelektrik, einem Bodenradar und der Radiomagnetotellurik durchgeführt. Neben der Ermittlung der Mächtigkeiten und internen Strukturen fluvialer Sedimentspeicher soll vor allem der Vergleich der eingesetzten geophysikalischen Methoden in Bezug auf den Informationsgehalt und das Auflösungsvermögen genauer betrachtet werden.

Die Daten der Refraktionsseismik und Geoelektrik wurden mittels des 4-Phasenmodells von Hauck et al. (2005) zur Bestimmung des Porenwasser und des mit Luft gefülltes Porenvolumens verschnitten. Zur Validierung des Modells wurde die Bodenfeuchte des oberflächennahen Untergrundes auf Grundlage von Bohrungen bestimmt.

Erste Ergebnisse der geophysikalischen Messungen zeigen ein kohärentes Bild das sich mit der Flussentwicklung der Sieg korrelieren lässt. Die oberste Schicht des oberflächennahen Untergrundes bilden Auenlehme (Hochwasserablagerungen) mit variabler Mächtigkeit. Sie weisen typische Feuchtegehalte um 20% auf. Die Auenlehme werden von Sanden und Kiesen unterlagert, die im ehemaligen Gerinnbett der Sieg abgelagert wurden. Die Bodenfeuchte der Gerinnesedimente ist starken Schwankungen unterworfen und lässt sich auf Grundlage deren Körngrößenzusammensetzung, der Entfernung zur Sieg und der variablen Mächtigkeit der Auenlehme erklären.

Hauck, C. M. Böttcher, C. Kottmeier (2005): Geophysikalische Modellierung von 4-Phasen Gemischen in gefrorenem Untergrund. DGG2005-Abstract.

Ernst Niederleithinger (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung) , Andreas Weller , Roland Lewis , Thomas FechnerBerhhard , Bernhard Lorenz , Jürgen Nießen , Ulrich Stötzner

## Schwachstellenanalyse an Flussdeichen

Email: Ernst.Niederleithinger@bam.de

Seit mehreren Dekaden werden ingenieurgeophysikalische Methoden bei der Deicherkundung eingesetzt. Je nach Bundesland – hier liegt die Verantwortung für den Hochwasserschutz – geschieht dies in stark unterschiedlichem Umfang und oft nicht systematisch und kontinuierlich. Nach der Flutkatastrophe von 2002 haben die Bemühungen deutlich zugenommen. Im Rahmen des Forschungsprogramms „Rimax“ fördert das BMBF das Projekt DEISTRUKT zur systematischen Evaluierung geophysikalischer Methoden zur Schwachstellenanalyse.

Die Bestandsaufnahme bisheriger Vorgehensweisen und Erfahrungen zeigte wie zu erwarten ein recht uneinheitliches Bild. In Deutschland wird vor allem Gleichstromgeoelektrik eingesetzt, dies aber nicht immer mit Erfolg. Die Umsetzung geophysikalischer Ergebnisse in geotechnisch verwertbare Informationen ist oft problematisch.

Die praktischen Messungen an vier Standorten an Elbe und Mulde zeigte das Potential aber auch die Grenzen der eingesetzten Verfahren. Sowohl Standardverfahren als auch innovative Methoden (z. B. MASW, SIP, Mehrkanal-Radar) kamen zum Einsatz. Mit 2D-Geoelektrik wurden insbesondere auf Profilen quer zur Deichachse sehr gute Resultate erzielt. Schwierig ist durch die Nichteindeutigkeit nach wie vor die Materialansprache. Messungen mit SIP brachten nur geringfügigen Zusatznutzen. Elektromagnetische Messungen können aufgrund des höheren Messfortschritts eine Alternative oder Ergänzung sein. Seismische Verfahren (MASW, Refraktions-Tomographie) sprechen auf ganz andere Bodeneigenschaften an und können dem Geotechniker zumindest qualitativ Kennwerte liefern. Das Bodenradar kartiert oberflächennahe Inhomogenitäten, z. B. anthropogene Einbauten.

Aus den Ergebnissen wird ein Handbuch für Deichverantwortliche erstellt.

---

## **2.22 VU - Vulkanologie**

Martin Hensch , Christian Hübscher (Institut für Geophysik, Universität Hamburg) , Ali Dehghani , Torsten Dahm , Matthias Hort , Iordanis Dimitriadis , Tuncay Taymaz

## Volcanic Hazard Risk assessment of Columbo Seamount (Aegean Sea, Greece)

Email: christian.huebscher@zmaw.de

The Columbo submarine volcano is part of the Santorini volcanic complex, situated about 7 km northeast of Thera island and inside the Santorini-Amorgos-Zone (SAZ). The SAZ marks a major structural boundary in a dextral transtensional regime which subdivides the Hellenic Volcanic Arc into a seismically and volcanically quiet western and an active eastern part. Seismicity mainly occurs along the Santorini-Amorgos-Ridge and beneath Columbo seamount, whereas activity around the volcano is thought to be linked to a magma reservoir in the subsurface, including magma and fluid migration towards the surface. The Columbo seamount itself has a well defined caldera with one single basin of 500 m depth. Its summit reaches up to 17 m below seafloor and up to now, one underwater explosion has been reported in 1650 A.D.

During a first cruise with RV Poseidon in May and June 2006, 1500 km of multi-channel reflection seismic and magnetic as well as 2500 km of gravity profiling have been performed inside the SAZ, i.e. mainly in the vicinity of Columbo volcano and a wider cross-section over the Santorini-Amorgos-Ridge. While the presence of magnetic anomalies are suggested to result from solidified magma bodies, seismic data allows the identification of possible tectonics and deposits of previous eruptions. Also, they maybe allow the detection of fluid migration paths and reservoirs associated to magma intrusions.

In a second phase, four Ocean-Bottom-Seismometers (OBS) and four Tiltmeters (OBT) have been deployed in a dense network around Columbo seamount, which aims on the understanding of possible relations between seismic and volcanic activities. As reported by other authors, the crustal uplift at Cape Columbo (north-eastern part of Thera island, Santorini) and a high seismicity rate in the vicinity of the Columbo caldera suggest the occurrence of offshore volcanic activity, such as dike intrusions accompanied by micro-earthquake clusters. The newly developed Hamburg OBT contains a two-component tiltmeter with a resolution of 10nrad and an absolute pressure sensor to detect uplift or subsidence. Additionally, each OBT observes seismic signals with a 0.3-25Hz hydrophone. We have deployed four OBTs on a profile perpendicular to the largest principle stress axis  $\sigma_1$  near the summit of Columbo. Focal mechanisms will be calculated and we will closely examine the tilt data to find correlations between

seabottom tilt and seismicity.

Sissy Kütter (TU Bergakademie Freiberg) , Antje Franke , Ralph-Uwe Börner , Klaus Spitzer

### **3-D simulation of magnetotelluric fields at Stromboli**

Email: [kuettne4@student.tu-freiberg.de](mailto:kuettne4@student.tu-freiberg.de)

Stromboli is a small volcanic island in the Mediterranean Sea off the west coast of Italy. The volcano is only 926m high but reaches down beneath the sea level to a depth of 2000 m. The first activities of the Palaeostromboli took place in the younger Pleistocene about 40,000 years ago. Today, it is famous because of its characteristic Strombolian eruptions which have proceeded in the same manner for at least the last two thousand years. To get a better understanding of these processes further explorations are essential. For this purpose it is necessary to know which geophysical methods are suitable to resolve the inner structure of the volcano. The aim of this work is in particular to examine whether the magnetotelluric method is applicable to this task. For this purpose, the geometry of Stromboli volcano and the surrounding bathymetry has to be considered as detailed as possible. This becomes feasible using finite element techniques on unstructured tetrahedral grids. First 3-D simulations of MT measurements are computed applying a generalized geometry: a frustum of 3000m height as the volcano, an underlying halfspace with a thickness of 5000m and a layer of sea water surrounding the volcano. The electromagnetic fields, apparent resistivities and phases are calculated numerically at the seafloor, the slopes and on top of the volcano. It is necessary to simulate for a wide frequency range to resolve the upper structure of the volcano including the chimney as well as the layers underneath the volcano and the magma chamber. By means of model studies we examine the resolvability of rising gas bubbles associated with Strombolian eruption processes.